

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Nejc Platiše

Sobivanje naprav različnih Wi-Fi generacij

DIPLOMSKO DELO

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM
PRVE STOPNJE
RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKA

MENTOR: prof. dr. Nikolaj Zimic

Ljubljana, 2016

Rezultati diplomskega dela so intelektualna lastnina avtorja. Za objavljanje ali izkoriščanje rezultatov diplomskega dela je potrebno pisno soglasje avtorja, Fakultete za računalništvo in informatiko ter mentorja.

Besedilo je oblikovano z urejevalnikom besedil \LaTeX .

Fakulteta za računalništvo in informatiko izdaja naslednjo nalogo:

Tematika naloge: Sobivanje naprav različnih Wi-Fi generacij

Brezžične računalniške komunikacije so se v zadnjem času zelo razmahnile. Pojavlja se vrsta novih standardov, ki dopolnjujejo in nadgrajujejo stare standarde.

V diplomski nalogi preglejte standarde za brezžična lokalna omrežja (Wi-Fi) in se osredotočite na sobivanje standardov različnih generacij. Poleg tega preglejte tudi standard Bluetooth, ki deluje na istem frekvenčnem območju (2,4 GHz) in predstavlja potencialno motnjo pri prenosu podatkov. Postavite realno omrežje in izmerite vpliv različnih standardov med seboj ter vpliv prenosa zvoka preko Bluetooth standarda na hitrost prenosa podatkov. Vse teste izdelajte na primeru, ko so vse naprave v enem prostoru in ko so naprave v različnih prostorih. Rezultate ustrezno ovrednotite.

Najlepše se zahvaljujem vsem, ki so pripomogli k izdelavi te diplomske naloge, še posebno pa mentorju prof. dr. Nikolaju Zimicu.

Kazalo

Povzetek

Abstract

1	Uvod	1
1.1	Cilji	2
1.2	Metodološki pristop	2
2	Wi-Fi standardi	3
2.1	802.11	4
2.2	802.11b	11
2.3	802.11g	12
2.4	802.11n	14
2.5	Sobivanje standardov 802.11b/g/n	18
3	Bluetooth	21
4	Sobivanje Wi-Fi in Bluetooth naprav	23
5	Priprava na meritve v omrežju	25
5.1	Sestava omrežja	25
5.2	Potek meritev	28
6	Rezultati meritev	41
6.1	Meritve na krajši razdalji	41

6.2	Meritve na daljši razdalji	50
6.3	Prikaz povprečnih rezultatov vseh meritev	60
7	Zaključek	63
	Literatura	65

Seznam uporabljenih kratic

kratica	angleško	slovensko
UHF	ultra high frequency	ultra visoka frekvenca
IEEE	institute of electrical and electronics engineers	inštitut inženirjev elektrotehnik in elektronike
MAC	medium access control	kontrola dostopa do medija
DSSS	direct-sequence spread spectrum	razpršeni spekter spekter direktnega zaporedja
ISM	industrial scientific medical frequency band	industrijsko znanstveno medicinski frekvenčni pas
BPSK	binary phase-shift keying	binarna fazna modulacija
QPSK	quadrature phase-shift keying	kvadratna fazna modulacija
CCK	complementary code keying	komplementarna kodna modulacija
PCF	point coordination function	funkcija točkaste koordinacije
DCF	distributed coordination function	funkcija porazdeljene koordinacije
AP	access point	dostopna točka
CFP	contention free period	netekmovalna faza
CP	contention period	tekmovalna faza
PIFS	PCF interframe space	PCF čas med posameznimi okvirji
DIFS	DCF interframe space	DCF čas med posameznimi okvirji
SIFS	short interframe space	kratki čas med posameznimi okvirji

kratica	angleško	slovensko
CSMA/CA	carrier sense multiple access with collision avoidance	večkratni dostop s poslušanjem nosilca in izogibanjem kolizije
RTS	request to send	zahteva za pošiljanje
CTS	clear to send	odobritev za pošiljanje
CW	contention window	tekmovalno okno
CW_{min}	minimum contention window	minimalno tekmovalno okno
ACK	acknowledge	potrditev
NAV	network allocation vector	vektor omrežne dodelitve
OFDM	orthogonal frequency-division multiplexing	ortogonalno frekvenčno multipleksiranje
16-QAM	16-quadrature amplitude modulation	16 kvadratura amplitudna modulacija
64-QAM	64-quadrature amplitude modulation	64 kvadratura amplitudna modulacija
MIMO	multiple input multiple output	večkraten vhod večkraten izhod
GI	guard interval	varovalni čas
RIFS	reduced interframe space	zmanjšani čas med posameznimi okvirji
PAN	personal area network	omrežje osebnega prostora
FHSS	frequency hopping spread spectrum	razpršeni spekter z menjajočimi frekvencami
AFHSF	adaptive frequency hopping spread spectrum	prilagodljiv razpršeni spekter z menjajočimi frekvencami

Povzetek

Naslov: Sobivanje naprav različnih Wi-Fi generacij

Avtor: Nejc Platiše

V diplomskem delu raziščemo medsebojne vplive sobivanja naprav različnih Wi-Fi generacij. Najprej se seznanimo s teoretičnimi lastnostmi različnih Wi-Fi standardov in načinom, kako ti sobivajo med seboj. Nato povzamemo bistvene lastnosti standarda Bluetooth in medsebojnega vpliva med Bluetooth in Wi-Fi prenosi.

V nadaljevanju zasnujemo dve postavitvi brezžičnega omrežja, in sicer na krajši razdalji, kjer se vse naprave nahajajo v istem prostoru, ter na daljši razdalji, kjer so naprave razporejene v različne prostore v etaži stanovanjske hiše.

Nato na danih napravah opravimo vrsto meritev, katerih cilj je spoznati v kakšni meri delujejo posamezni negativni učinki, kot so oddaljenost med napravami, Bluetooth prenos in različni Wi-Fi standardi na prenosno hitrost v Wi-Fi omrežju.

Na koncu se osredotočimo na rezultate meritev in z njihovo pomočjo izberemo bistvene dejavnike, ki pripomorejo k padcu zmogljivosti Wi-Fi omrežja.

Ključne besede: računalniško omrežje, Wi-Fi, brezžično omrežje, Bluetooth.

Abstract

Title: Coexistence of devices from different generations of Wi-Fi.

Author: Nejc Platiše

In this thesis we investigate coexistence interactions of devices from different Wi-Fi generations. First, we learn about the teoretical properties of various Wi-Fi standards and the way how they coexist with each other. Then summarize the essential features of the standard Bluetooth and interactions between Bluetooth and Wi-Fi transmissions.

Then we design the installation of two wireless networks at the shorter distance, where all the devices located in the same room, and at the long distance, where devices are arranged in different rooms in the same floor of the house.

Then we make a series of measurements on those devices. The goal is to realize the extent of negative effects such as distance between devices, Bluetooth transfer and various Wi-Fi standards on the transmission speed of the Wi-Fi network.

In the end, we focus on the results and use them to select main factors which contribute to decrease performance of Wi-Fi network .

Keywords: computer network, Wi-Fi, wireless network, Bluetooth.

Poglavje 1

Uvod

V tej nalogi bomo svoj čas posvetili brezžičnim lokalnim, malenkost pa tudi piko omrežjem. To so omrežja, ki so po velikosti omejena. Večinoma njihov domet pokriva rezidenco, laboratorij, izobraževalno ustanovo ali pa v nekaterih primerih javno dostopnega internetnega omrežja del ulice oziroma trga. V preteklosti so bila lokalna brezžična omrežja relativno redka. Z njimi so razpolagala nekatera podjetja, laboratoriji, izobraževalne ustanove (primer: Fakulteta za računalništvo in informatiko) ter določene bivalne enote računalniško pismenih ljudi. V zadnjem času pa smo priča razmahu teh omrežij. Vedno redkejša so gospodinjstva brez brezžičnega lokalnega omrežja. Priča smo postavitvam teh omrežij po ulicah, trgih, raznih turističnih enotah ter ostalih mestih, kjer je s strani uporabnikov zaželjena internetna povezava. Pri tem pa se soočamo z velikim številom naprav v omrežju ter posledično z različnimi komunikacijskimi standardi, od katerih so nekateri novejši in posledično zagotavljajo hitrejši prenos, spet drugi pa so starejši in ne samo to, da je prenos podatkov počasnejši v primerjavi s prejšnjimi, ampak tudi zaradi prilagoditve dostopne točke tem standardom upočasnjujejo celoten podatkovni promet znotraj dometa dostopne točke oziroma usmerjevalnika. Nato pa so tu še *Bluetooth* ter druge naprave, ki ravno tako kot Wi-Fi naprave delujejo na 2,4 GHz spektru in so potencialne povzročiteljice motenj za ostale Wi-Fi naprave v fizičnem dosegu.

Kot bralec boste v tej nalogi zasledili veliko angleških izrazov, ki bi jih bilo nesmiselno prevajati v slovenščino, saj bi bili prevodi zelo dvoumni. Zato so ti izrazi ohranjeni v angleščini in zapisani *poševno*.

1.1 Cilji

Cilj diplomske naloge je s pomočjo vnaprej definiranega eksperimenta izmeriti, v kolikšni meri starejši Wi-Fi standardi, ter *Bluetooth* naprave upočasnjujejo hitrost prenosa novjših Wi-Fi standardov pri pogojih:

- vse Wi-Fi naprave bodo povezane znotraj ene dostopne točke;
- dostopna točka bo podpirala standarde IEEE 802.11b, g in n;
- v omrežje dostopne točke bodo povezane tri naprave, vsaka naprava z enim standardom tako, da se standardi ne bodo podvajali;
- dve *Bluetooth* napravi bosta povezani v pikonet.

Eksperiment se bo izvedel na napravah, ki podpirajo standarde IEEE 802.11b, g in n.

1.2 Metodološki pristop

Najprej bomo izgradili omrežje, nad katerim bomo izvedli meritve, ki se bodo na koncu analizirale in ovrednotile.

Poglavje 2

Wi-Fi standardi

Zametki Wi-Fi tehnologije segajo v leto 1971, ko je mrežni sistem ALOHA-net, ustvarjen na Havajski univerzi, povezal Havajske otoke z *UHF* brezžičnim paketnim omrežjem.

Z imenom Wi-Fi se naslavlja tehnologijo, ki omogoča elektronskim napravam, da se lahko povežejo v brezžično lokalno omrežje (*wireless local area network*). Organizacija Wi-Fi *Alliance* definira Wi-Fi kot vsako brezžično lokalno omrežje, ki deluje po navodilih IEEE 802.11 standarda.

Standard 802.11 je določen s strani organizacije IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*). Obsega skupek specifikacij na fizični in *MAC* plasti za implementacijo brezžičnega lokalnega omrežja. Standard zajema frekvence 900 MHz, 2,4 GHz, 3,6 GHz, 5 GHz in 60 GHz. Prva verzija standarda je bila objavljena leta 1997, od takrat naprej pa se standard stalno dopolnjuje z novimi različicami (a, b, g, n, ac, ad ...).

Organizacija Wi-Fi *Alliance* je bila ustanovljena leta 1999. Wi-Fi naprave proizvaja veliko število različnih podjetij. Wi-Fi *Alliance* skrbi za to, da so naprave različnih proizvajalcev med sabo kompatibilne ter brez težav pri medsebojni komunikaciji. V kolikor naprava to zagotavlja, potem se ji podeli Wi-Fi certifikat.

V tem poglavju si bomo podrobneje ogledali standard 802.11 ter njegove naslednike 802.11b, 802.11g in 802.11n.

2.1 802.11

Standard 802.11 je bil ratificiran leta 1997. Bil je prvi standard, ki je podal navodila za delovanje Wi-Fi naprav. Posledično je bilo proizvedenih zanesljivo veliko naprav, ki so podpirale izključno ta standard. Poleg tega so imele naprave različnih proizvajalcev težave pri medsebojnem delovanju zaradi prevelike količine izbirnih nastavitev delovanja. Na njem temeljijo vsi poznejši standardi. Pri današnjih napravah se način delovanja, ki je skladen s tem standardom, imenuje *legacy mode*.

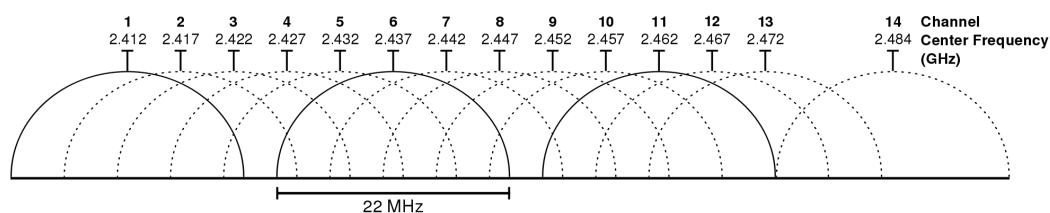
2.1.1 Modulacija in hitrosti

Standard specificira dve hitrosti na fizičnem nivoju: 1 Mbps ter 2 Mbps. Prenos poteka po eni izmed treh različnih tehnologij: prenos z infrardečim žarkom, prenos s *frequency-hopping spread spectrum* tehniko ali prenos z *DSSS (Direct-sequence spread spectrum)* tehniko. Zadnji dve tehniki uporabljata *ISM (Industrial Scientific Medical frequency band)* območje na 2,4 GHz spektru. To območje je bilo prvotno mišljeno za uporabo na področju industrije, znotraj katere ni všteta računalniška komunikacija, in medicine. Šele kasneje so se znotraj *ISM* pojavile brezžične komunikacijske naprave. *ISM* območje je podrejeno nacionalnim regulacijam, zato se med državami delno razlikuje. Naprava za delovanje znotraj tega območja ne potrebuje licence, mora pa implementirati določene tehnike, ki preprečujejo, da bi takšna naprava motila ostale naprave v tem območju. Naprava lahko omeji oddajno moč, kot to poznamo pri Wi-Fi napravah. Lahko pa se oddajanje izvaja v prostoru, ki je izoliran od okolice. Primer takšne naprave je mikrovalovna pečica.

Pri standardu 802.11 je zanimiva predvsem *DSSS* modulacijska tehnika, saj je bila ta podlaga za nadaljnje standarde. Znotraj *DSSS* modulacijske tehnike se za prenosno hitrost 1 Mbps uporablja *BPSK (Binary phase-shift keying)*, za hitrost 2 Mbps pa se uporablja *QPSK (Quadrature phase-shift keying)*.

2.1.2 Frekvence in kanali

Pri *DSSS* modulacijski tehniki je pasovna širina dodeljena odjemalcem v obliki diskretnih kanalov. Znotraj standarda se uporablja frekvenčno območje od 2,401 GHz do 2,495 GHz, ki je razdeljeno na 14 kanalov, ki se med seboj prekrivajo. To se lepo vidi na sliki 2.1. Vsak kanal ima širino 22 MHz. V praksi se največ uporabljajo kanali 1, 6 in 11, saj je njihova postavitev znotraj frekvenčnega območja taka, da lahko 3 posamezne naprave hkrati oddajajo vsaka na svojem kanalu, brez da bi prišlo do medsebojnega motenja med napravami. Pri tem se upošteva, da imajo vse tri naprave dodeljene različne kanale (kanal 1, 6 ali 11). Kanal 13 nima dovoljenja za uporabo v Združenih državah Amerike, kanal 14 pa je dovoljen samo na Japonskem.



Slika 2.1: Slika prikazuje razporeditev kanalov v 2,4 GHz frekvenčnem območju. Kanal 14 je dovoljen za uporabo *DSSS/CCK* samo na Japonskem [1]. Več o *CCK* boste izvedeli pri specifikacijah naslednjega standarda.

2.1.3 Dostopanje do medija

V brezžičnem omrežju naprave tekmujejo med seboj v hitrosti zasedanja medija. Tako najhitrejša naprava prva zasede medij in s tem prehití vse ostale tekmujoče naprave. Za čas zasedenosti medija ostale naprave ne morejo oddajati. Seveda je tekmovanje za medij s strani naprave smiselno le v kolikor ima ta podatke, ki jih mora oddati. Dostopanje do medija je specifičirano s pomočjo dveh tehnik: *PCF* (*Point coordination function*) in *DCF* (*Distributed coordination function*).

V načinu *PCF* komunikacijo znotraj omrežja koordinira *AP* (*Access po-*

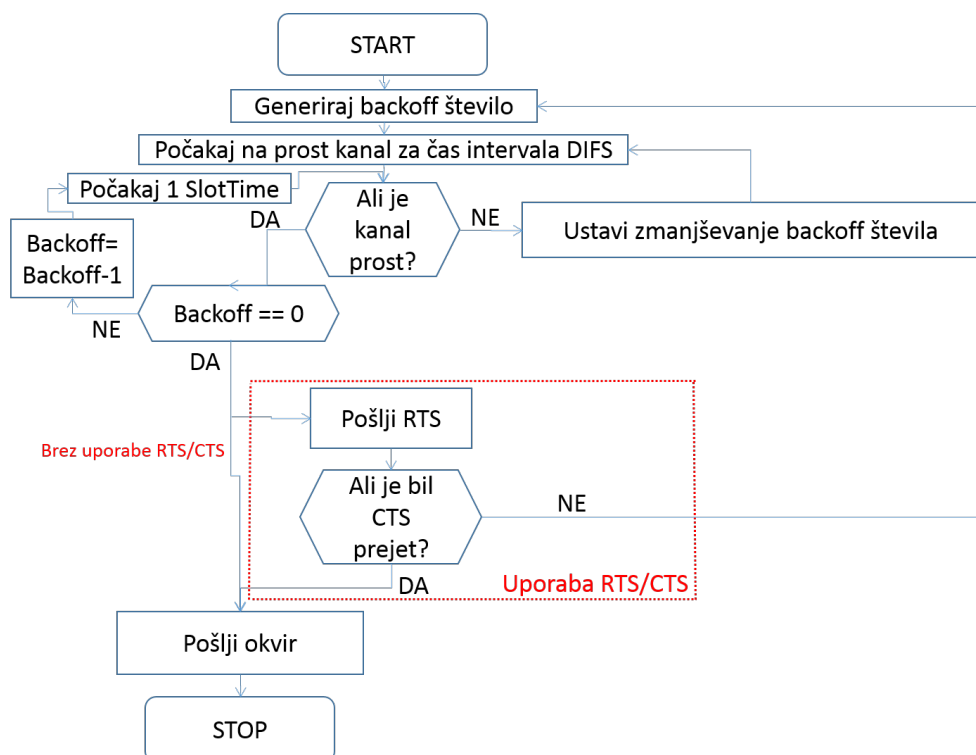
int). Tehnika *PCF* je v standardu IEEE 802.11 neposredno nadrejena tehniki *DCF*, posledično *PCF* odloča, kdaj naj omrežje deluje v *DCF* oziroma *contention-based* načinu. Dostop do medija je v *PCF* načinu centraliziran. *AP* pošlje *CF-Pool* okvir tistim napravam, ki podpirajo *PCF* način in jim na ta način sporoči, naj oddajo okvir. Če naprava nima nobenih okvirjev v čakalni vrsti za pošiljanje, mora poslati *null* okvir. Zaradi prioritete *PCF* dostopa pred *DCF* dostopom je bilo možno, da naprave, ki so podpirale samo *DCF* dostop, niso mogle dostopati do medija. Temu v izogib je čas med paketi *beacon*, ki se imenuje tudi *superframe*, razdeljen na *CFP* (*Contention free period*), znotraj katere se dostopa do medija s tehniko *PCF*, ter na *CP* (*Contention period*), znotraj katere pa se do medija dostopa s tehniko *DCF*. Preden dostopna točka zasede medij tako, da pošlje *beacon* okvir, mora ta počakati za čas *PIFS* (*PCF interframe space*) od zadnjega okvirja, ki se je prenašal po mediju. Čas *PIFS* je vedno krajši od časa *DIFS* (*DCF interframe space*). Po standardu 802.11 v modulačijskem načinu *DSSS* čas *PIFS* traja 30 μ s, čas *DIFS* pa traja 50 μ s. Čas *PIFS* se izračuna po sledeči formuli:

$$PIFS = SIFS + SlotTime$$

SIFS (*Short interframe space*) je zahtevan čas za procesiranje prejetega okvirja in pošiljanje okvirja z odgovorom. Bolj natančno, *SIFS* je razlika v času med prvim simbolom okvirja z odgovorom (*response*) ter zadnjim simbolom prejetega okvirja. Pri standardu 802.11 v načinu *DSSS* traja *SIFS* 10 μ s. *Slot time* je dvakratnik časa potovanja elektronskega pulza med dvema teoretično maksimalno odaljenimi vozlišči. Pri standardu 802.11 v načinu *DSSS* traja *slot time* 20 μ s.

V načinu *DCF* je vsem napravam omogočen enakovreden dostop do medija. Pri dostopu se uporablja *CSMA/CA* (*Carrier sense multiple access with collision avoidance*). Ta algoritem omogoča, da naprava, preden začne oddajati, preveri, če je medij prost. V primeru zasedenosti počaka, da se medij sprostí. To je ključno za izogib kolizijam, saj si medij pogosto deli veliko več naprav pri brezžičnem prenosu podatkov v primerjavi z žičnim

prenosom. *CSMA/CA* tudi omogoča vnaprejšnjo rezervacijo medija, tako da se možnost kolizij še dodatno zmanjša. Pri tem se uporabljata kontrolna okvirja *RTS* (*Request to send*) in *CTS* (*Clear to send*). *CSMA/CA* algoritem poenostavljeno prikazuje slika 2.2.



Slika 2.2: Slika prikazuje poenostavljeno delovanje algoritma *CSMA/CA*.

Naprava, ki hoče znotraj *DCF* načina poslati okvir, se mora držati naslednjega algoritma:

1. Naprava generira naključno število, imenovano *backoff* število, ki je na intervalu med 0 in CW_{min} (*Minimum contention window*).
2. Počaka, dokler kanal ni prost za čas *DIFS* intervala.
3. Če je kanal še vedno prost, potem začne zmanjševati *backoff* število za vsak pretečen *slot time*, v katerem je kanal prost. Skupek vseh *slot time* časov se imenuje *CW* (*Contention window*).

4. V primeru, da v tem času kanal zasede druga naprava, se dekrementacija ustavi, naprava pa se vrne na točko 2.
5. Če kanal ostane prost vse dokler *backoff* število ne doseže nič, potem lahko naprava pošlje okvir.

V primeru, da naprava ne uspe poslati okvirja znotraj prvotnega *backoff* števila, potem se generira novo *backoff* število, pri katerem se upošteva novo *CW_{min}* vrednost, ki se izračuna po sledeči formuli:

$$nextCWmin = 1 + (2 * previousCWmin)$$

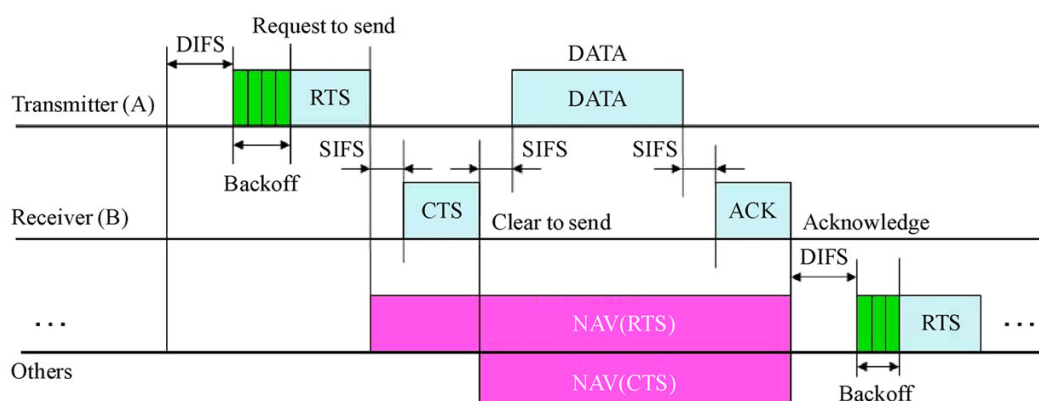
Pri standardu 802.11 se *CW_{min}* število giblje med vključno 31 in 1023.

DIFS se izračuna po sledeči formuli:

$$DIFS = SIFS + (2 * SlotTime)$$

in je v standardu 802.11 pri uporabi tehnologije *DSSS* dolg 50 μ s.

Slika 2.3 prikazuje delovanje vnaprejšnje rezervacije medija s pomočjo *RTS/CTS* okvirjev. *RTS/CTS* mehanizem pripomore k večji učinkovitosti prenosa podatkov. V kolikor se kolizija pojavi ob pošiljanju *RTS* okvirja, potem se pokvari okvir dolg 20 bitov, če pa se kolizija pojavi ob pošiljanju podatkovnega okvirja, pa je lahko ta okvir dolg tudi več kot dva tisoč bitov. Pri okvari se okvir zavrže, posledično je bila zasedenost medija za čas prenosa neproduktivna. Iz tega lahko sklepamo, da se prenos z uporabo *RTS/CTS* mehanizma v omrežjih, kjer deluje veliko aktivnih uporabnikov, ponaša z učinkovitostjo, ki je v primerjavi prenosa brez *RTS/CTS* mehanizma lahko tudi do stokrat večja.



Slika 2.3: Slika prikazuje delovanje vnaprejšnje rezervacije medija[2].

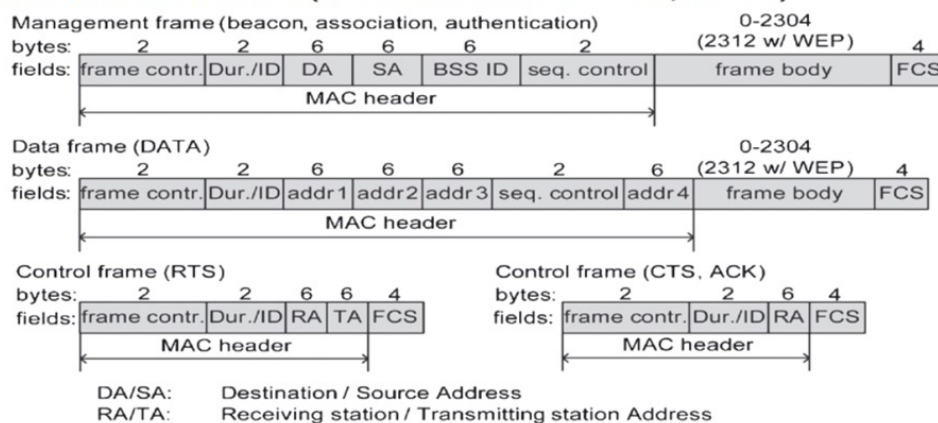
V kolikor naprava, ki hoče pošiljati, znotraj celotnega časovnega intervala *DIFS* od zadnjega poslanega okvirja zazna prost medij, potem lahko po *backoff* intervalu pošlje *RTS* okvir, s katerim prosi za rezervacijo medija. V kolikor prejemnik paketa *RTS* ni začel z oddajanjem, potem ta po času *SIFS* pošlje *CTS* pošiljatelju. Nato pošiljatelj prejemniku pošlje podatke. V kolikor so podatki pravilno sprejeti, potem prejemnik te podatke potrdi z *ACK*. Ko je s strani ostalih naprav sprejet *ACK*, potem to pomeni zaključek rezervacije medija in od tega trenutka dalje je medij prost. *NAV* (*Network allocation vector*) predstavlja čas, v katerem je medij rezerviran. V napravah je ta realiziran s pomočjo števca, ki se skozi čas zmanjšuje. Dokler je števec pozitiven, naprava ne sme oddajati. V tem času večina prenosnih naprav (prenosniki, mobilni telefoni) preide v način varčevanja z baterijo. Po koncu *NAV* pa se te naprave prebudijo in ponovno spremljajo dogajanje na mediju.

2.1.4 Vrste okvirjev

Pri tem standardu poznamo več vrst okvirjev. Ti se v grobem delijo na upravljalne, podatkovne in kontrolne. Upravljalni okvirji se naprej delijo na *beacon* okvirje (s pomočjo tega okvirja dostopna točka pošilja specifikacije in informacije za priključitev v omrežje), *association* okvirje (to so okvirji, ki

se uporabljajo za pridružitev omrežju), okvirje za avtentikacijo ter okvirje za iskanje sosednjih naprav (*probe request/response*). Pri upravljaljskih okvirjih so *MAC* glave velike 24 bajtov. V podatkovnih okvirjih se prenašajo aplikacijski podatki. Pri teh je *MAC* glava velikosti 30 bajtov. Glavni predstavniki kontrolnih okvirjev pa so okvirji za *RTS*, *CTS* ter *ACK*. *MAC* glave *RTS* okvirjev so velike 16 bajtov, pri *CTS* in *ACK* okvirjih pa so velikosti 10 bajtov. Različne vrste okvirjev lepo ponazarja slika 2.4.

Formats of MAC Frames (MAC Protocol Data Unit, MPDU)



Slika 2.4: Slika prikazuje različne okvirje v standardu 802.11[3].

2.2 802.11b

Ta standard je bil ratificiran leta 1999, in je nadgradnja standarda 802.11. Zaradi cenovno konkurenčnih komponent se je ta tehnologija v primerjavi s predhodnimi standardi hitro uveljavila v zahodnih državah. Njena slabost pa je predvsem občutljivost na motnje ostalih naprav, ki delujejo v 2,4 GHz območju. To so naprave *Bluetooth*, brezžični telefoni ter tudi mikrovalovne pečice.

2.2.1 Modulacija in hitrosti

Standard uporablja *DSSS* modulacijsko tehniko. Za modulacijo bitov se lahko uporablja *BPSK*, *QPSK* ali *CCK* (*Complementary code keying*). Teoretično je največja prenosna hitrost 11 Mbps. Praktično pa se prenosna hitrost giblje okoli 5 Mbps. Modulacijske hitrosti bolj podrobno prikazuje tabela 2.1. Kodno razmerje je razmerje med podatkovnimi biti in vsemi prenesenimi biti. Zadnji so vsota podatkovnih in redundantnih bitov. Število bitov na simbol pa nam pove, koliko bitov je moduliranih znotraj posameznega simbola. Simbol je najmanjša enota na fizičnem mediju [4].

Modulacija	Kodno razmerje	Št. bitov na simbol	Hitrost (Mbps)
BPSK	1/11	1	1
QPSK	1/11	2	2
CCK	4/8	1	5,5
CCK	4/8	2	11

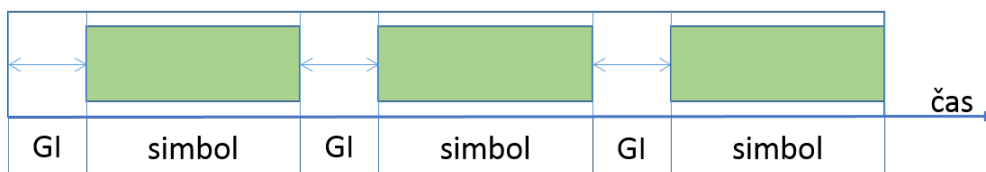
Tabela 2.1: Tabela prikazuje različne načine modulacije in njihove hitrosti pri standardu 802.11b

2.3 802.11g

Standard IEEE 802.11g je izšel leta 2003. Je naslednik standarda 802.11b ter z njim tudi kompatibilen. Tako kot standard 802.11b tudi ta uporablja frekvenčno območje 2,4 GHz. Razpored kanalov, dostop do medija in vrste paketov so enake kot pri predhodniku.

2.3.1 Modulacija in hitrosti

Teoretično največja hitrost prenosa znaša 54 Mbps. Standard uporablja *OFDM* (*Orthogonal frequency-division multiplexing*) modulacijo, ki je povezana iz standarda 802.11a. Varovalni čas med posameznimi simboli, ki se imenuje tudi *guard interval*, traja 800 nanosekund. Ta je postavljen na začetku vsakega simbola in zagotavlja pravilno dekodiranje moduliranih podatkov, saj prejemnik za ta čas preneha z izvajanjem dekodiranja simbola. Znotraj intervala se prekrivajo odboji prejšnjega simbola, ki so se odbili od fizičnih ovir in nov simbol, ki ga oddaja pošiljatelj. Slika 2.5 prikazuje, kako so varovalni intervali in simboli razporejeni na mediju. Varovalni interval je označen s kratico *GI*.



Slika 2.5: Slika prikazuje razporeditev varovalnih intervalov in simbolov na mediju.

Naprave lahko za zagotavljanje povratne kompatibilnosti z 802.11b uporabljajo tudi *DSSS* modulacijo, kjer pa so hitrosti bistveno nižje. Za modulacijo bitov se lahko uporablja *BPSK*, *QPSK*, *16-QAM* ali pa *64-QAM*. Na te načine lahko moduliramo enega, dva, štiri ali šest bitov na simbol. Tabela 2.2 prikazuje hitrosti prenosa v izključno 802.11g načinu kot tudi v

mešanem načinu 802.11b-802.11g. Moč signala se meri na sprejemniku. V dani tabeli predstavlja najmanjšo moč, pri kateri se lahko izvaja sprejem za dani način modulacije. Ta nam v enotah decibel-milivatov pove, koliko moči še ohrani signal po prepotovani razdalji od oddajnika. Moč pada s kvadratom razdalje. -71 dBm predstavlja približno 70 pikovatov, -88 dBm pa približno 2 pikovata. Uporabna hitrost v kombiniranem načinu se nanaša na situacijo, ko so znotraj omrežja hkrati aktivne 802.11g in 802.11b naprave.

Modulacija	Kodno razmerje	Moč signala (dBm)	Hitrost 802.11g (Mbps)	Uporabna hitrost izključno 802.11g (Mbps)	Uporabna hitrost kombinirano 802.11g in 802.11b (Mbps)
64-QAM	3/4	-71	54	36,4	19,9
64-QAM	2/3	-72	48	33,5	19
16-QAM	3/4	-76	36	27,1	16,7
16-QAM	1/2	-80	24	19,6	13,5
QPSK	3/4	-83	18	15,3	11,3
QPSK	1/2	-85	12	10,7	8,6
BPSK	3/4	-87	9	8,2	6,9
BPSK	1/2	-88	6	5,6	4,9

Tabela 2.2: Tabela prikazuje hitrosti prenosa pri različnih načinih modulacije znotraj standarda 802.11g

2.4 802.11n

Standard IEEE 802.11n je bil ratificiran leta 2009. Ta standard prinaša kar nekaj novosti. Te so poleg hitrejših prenosnih hitrosti: *MIMO* (*Multiple input multiple output*) tehnologija, ki bo opisana kasneje, 40 MHz kanal ter 5 GHz območje delovanja. Standard prinaša tudi izboljššan doseg in je kompatibilen s predhodnikom.

2.4.1 Modulacija in hitrosti

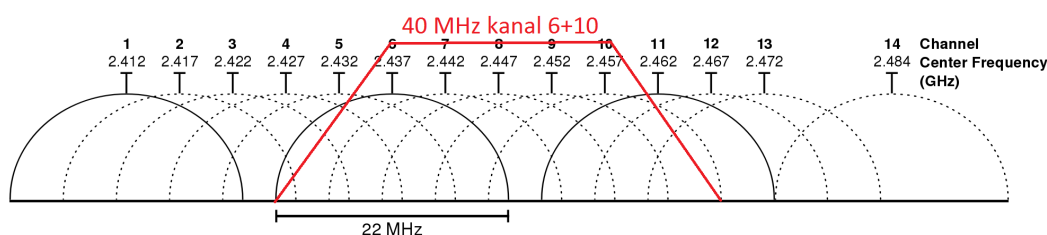
Standard uporablja *OFDM* modulacijsko tehniko. Za modulacijo bitov se lahko uporablja *BPSK*, *QPSK*, *16-QAM* ali pa *64-QAM*. Na te načine lahko moduliramo enega, dva, štiri ali šest bitov na simbol. Največje teoretične prenosne hitrosti so 150, 300, 450, 600 Mbps pri enem, dveh, treh ali štirih snopih. O snopih nekoliko več v nadaljevanju. V praksi naprave 802.11n podpirajo največ tri snope. Standard omogoča tudi krajši *guard interval* (*GI*), ki se v primerjavi s predhodnim standardom lahko skrči iz 800 na 400 nanosekund. Na ta način se hitrost poveča za približno 11 odstotkov. Tabela 2.3 prikazuje hitrosti prenosa standarda 802.11n pri različnih načinih modulacije.

Število snopov	Modulacija	Kodno razmerje	Hitrost (Mbps)			
			20 MHz kanal		40 MHz kanal	
			0,8 μ s GI	0,4 μ s GI	0,8 μ s GI	0,4 μ s GI
1	BPSK	1/2	6,5	7,2	13,5	15
1	QPSK	1/2	13	14,4	27	30
1	QPSK	3/4	19,5	21,7	40,5	45
1	16-QAM	1/2	26	28,9	54	60
1	16-QAM	3/4	39	43,3	81	90
1	64-QAM	2/3	52	57,8	108	120
1	64-QAM	3/4	58,5	65	121,5	135
1	64-QAM	5/6	65	72,2	135	150
2	BPSK	1/2	13	14,4	27	30
2	QPSK	1/2	26	28,9	54	60
2	QPSK	3/4	39	43,3	81	90
2	16-QAM	1/2	52	57,8	108	120
2	16-QAM	3/4	78	86,7	162	180
2	64-QAM	2/3	104	115,6	216	240
2	64-QAM	3/4	117	130	243	270
2	64-QAM	5/6	130	144,4	270	300
3	...	...	...	...	...	...
3	64-QAM	5/6	195	216,6	405	450
4	...	...	...	...	...	...
4	64-QAM	5/6	260	288,9	540	600

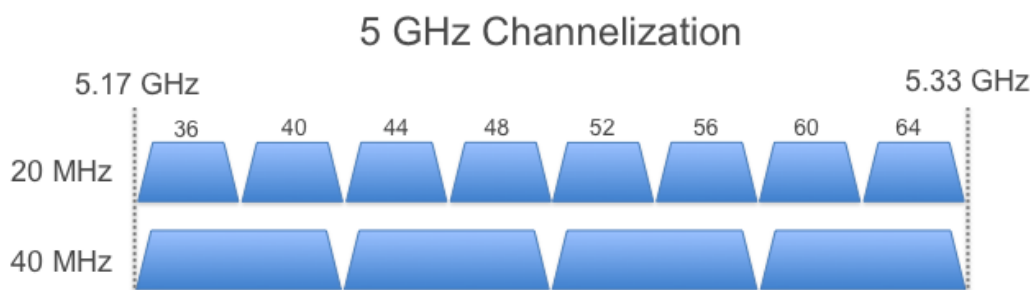
Tabela 2.3: Tabela prikazuje hitrosti prenosa pri različnih načinih modulacije znotraj standarda 802.11n

2.4.2 Frekvence in kanali

Novost tega standarda je prenos podatkov tako na 2,4 GHz, kot tudi na 5 GHz frekvenčnem spektru. Standard omogoča tudi hkratno uporabo dveh sosednjih kanalov, ki se za 2 MHz prekrivata med sabo. Primer takega 40MHz kanala na 2,4 GHz spektru prikazuje slika 2.6. Hitrost prenosa je na ta način malce več kot dvakratna. Na 2,4 GHz spektru je uporaba dveh sosednjih kanalov problematična, saj imamo samo tri neprekrivajoče se kanale. Pri 5 GHz spektru pa je kanalov dosti več in se takim problemom lažje izognemo. Slika 2.7 prikazuje razpored kanalov na 5 GHz spektru.



Slika 2.6: Slika prikazuje primer 40 MHz kanala na 2,4 GHz spektru[1].



Slika 2.7: Slika prikazuje razporeditev kanalov na 5 GHz spektru[5].

2.4.3 MIMO

Standard 802.11n uvaja tehnologijo *MIMO* (*Multiple input multiple output*). To je način prenosa z več antenami. Ta tehnologija omogoča združevanje signalov, prostorsko kodiranje, prenos z več snopi in usmerjanje snopa.

Pri združevanju signalov je bistvo v tem, da lahko sprejete signale združimo, v kolikor ima sprejemnik več anten. Tako dobimo skupen signal, ki je močnejši.

Prostorsko kodiranje (*space block coding*) omogoča povečanje zanesljivosti prenosa podatkov ter zmanjšuje vpliv nihanja moči signala (*fading*), saj se informacija prenaša po različnih poteh. Uporablja se, ko ima oddajnik več, sprejemnik pa samo eno anteno. Oddajnik po vsaki anteni pošilja simbole v različnih zaporedjih. Eden izmed načinov kodiranja signala je *Alamuti code*.

Najbolj pomemben način prenosa podatkov, kar se tiče povečanja hitrosti prenosa v primerjavi s predhodnimi standardi, je prenos z več snopi naenkrat. Snop lahko enostavno opredelimo kot tok podatkov po mediju od pošiljatelja k prejemniku. V primeru treh oddajnih in treh sprejemnih anten, se lahko podatki prenašajo s pomočjo treh snopov, to pa za trikrat poveča hitrost prenosa. Tak prenos se v mimo notaciji zapiše s 3x3:3 in predstavlja prenos s tremi oddajnimi, tremi sprejemnimi antenami in tremi snopi. Število snopov ne more biti večje od števila tako oddajnih kot tudi sprejemnih anten. V primeru, ko je sprejemnih anten več, se le te uporabljajo za izboljšanje sprejema signala. Čeprav standard 802.11n omogoča štiri snope, pa *Wi-Fi Alliance* podpira prenos z največ tremi snopi.

S pomočjo več anten pa lahko tudi usmerjamo radijski snop. S tem dosežemo ožjo prostorsko pokritost s signalom, posledično pa je signal na sprejemni strani močnejši, poleg tega pa se tudi zmanjša interferenca z ostalimi napravami. Vendar pa standard 802.11n usmerjanja radijskega snopa ne omogoča[6].

2.4.4 Izboljšave na MAC nivoju

Standard uvaža več različnih izboljšav. Po novem se lahko *MAC* paketi združujejo in pošiljajo kot en paket na fizičnem nivoju. Angleški izraz za to je *frame aggregation*. Zaradi združenega pošiljanja paketov je bilo potrebno uvesti tudi nov način potrjevanja paketov. Tako standard uvaža skupinsko potrjevanje prejetih paketov, ki pa se uporablja tako za posamezne kot tudi za združene pakete. V primeru, ko ista postaja pošilja več paketov, se namesto časa *SIFS*, ki traja 16 μ s na 5 GHz spektru, uvaža *RIFS* (*Reduced inter-frame spacing*), ki traja 2 μ s. *RIFS* se lahko uporablja le, če celotno omrežje podpira takšen način delovanja. Standard omogoča tudi zmanjševanje porabe energije. Naprave, ki delujejo v načinu varčevanja z energijo, se periodično aktivirajo in poslušajo promet. V tem načinu se uporablja samo ena antena. Poleg tega pa se lahko naprava naroči na periodičen prenos podatkov. To pomeni, da bo naprava aktivna samo v vnaprej predvidenem intervalu. Do-

stopna točka mora taki napravi hraniti podatke vse dokler ne pride interval, kjer jih lahko pošlje. Ta način je še posebej primeren, ko imamo stalni tok podatkov[6].

2.5 Sobivanje standardov 802.11b/g/n

Velika prioriteta Wi-Fi naprav je nemoteno medsebojno delovanje tako med napravami, ki so produkt različnih proizvajalcev, kot tudi tistimi, ki podpirajo različne standarde. Znotraj 2,4 GHz frekvenčnega spektra standardi 802.11b/g/n zagotavljajo medsebojno kompatibilnost, kljub temu da so nekateri izmed njih preformančno veliko bolj napredni. Tabela 2.4 prikazuje ključne razlike med posameznimi standardi, pri upoštevanju načina prenosa, pri katerem je hitrost maksimalna za dani standard.

	802.11b	802.11g	802.11n
Modulacijska tehnika	DSSS	OFDM	OFDM
Moduliranje bitov	BPSK, QPSK, CCK	16-QAM, 64-QAM	16-QAM, 64-QAM
Max hitrost (Mbps)	11	54	600
Frekvenčni spekter (GHz)	2,4	2,4	5
Širina kanala (MHz)	20	20	40
Guard interval (ns)	800	800	400
Ostale novosti	/	/	MIMO, Frame aggregation, RIFS

Tabela 2.4: Tabela prikazuje bistvene razlike med standardi 802.11b/g/n oziroma novosti, ki jih je posamezni standard uvedel.

Če si ogledamo tipično današnje brezžično omrežje, znotraj katerega imamo naprave, ki delujejo po načelu enega od standardov 802.11b/g/n, lahko to deluje na več načinov:

Prvi od teh je način *greenfield*, kjer vse naprave delujejo po standardu 802.11n. Ta način omogoča največje hitrosti prenosa, hkrati pa ne podpira

802.11 a/b/g naprav. Poleg tega oddajanje naprav s starejšimi standardi privede do kolizij in interferenc.

V načinu *mixed* naprave novejših standardov omogočajo sobivanje s starejšimi standardi, v kolikor ti oddajajo na istem frekvenčnem spektru. Ta pa prinaša zmanjšano zmogljivost omrežja na račun kompatibilnosti s starejšimi napravami, v kolikor so te aktivne v omrežju. Kljub temu je *mixed* mode najpogostejše uporabljena rešitev. Slika 2.8 prikazuje različne načine oddajanja okvirjev. Pri *greenfield* načinu se vsi okvirji oddajajo v *OFDM* modulacijski tehniki. Ko napravo preklopimo v *mixed* način, se zaradi kompatibilnosti z 802.11b večino upravljalških in kontrolnih okvirjev oddaja v *DSSS* modulacijski tehniki. Omrežje teži k temu, da je prenosov z *DSSS* modulacijo in nizkimi hitrostmi čim manj, zato naprave med prenosom spreminjajo hitrost in način modulacije. V kolikor je posamezen podatkovni okvir namenjen napravi, ki deluje po standardu 802.11b, potem se celotni okvir odda s pomočjo *DSSS* modulacije. Na sliki to predstavlja *Mixed mode b*. Če pa je paket namenjen napravi, ki podpira g oziroma n standard, pa se samo glava modulira v *DSSS*, telo pa se pošlje v *OFDM* tehniki. Slika to predstavlja pod *Mixed mode g/n* možnostjo.

	Head	Body
Greenfield mode	OFDM	OFDM
Mixed mode b	DSSS	DSSS
Mixed mode g/n	DSSS	OFDM

Slika 2.8: Slika prikazuje razliko v oddajanju med *greenfield* in *mixed* načinoma.

Obstaja še *legacy* način. V tem načinu pa se vse naprave poslužujejo prvotnega standarda 802.11 in delujejo po njegovih specifikacijah. Tako naprave v tem načinu ne presežejo prenosne hitrosti 2 Mbps. Ta rešitev se uporablja izjemno redko.

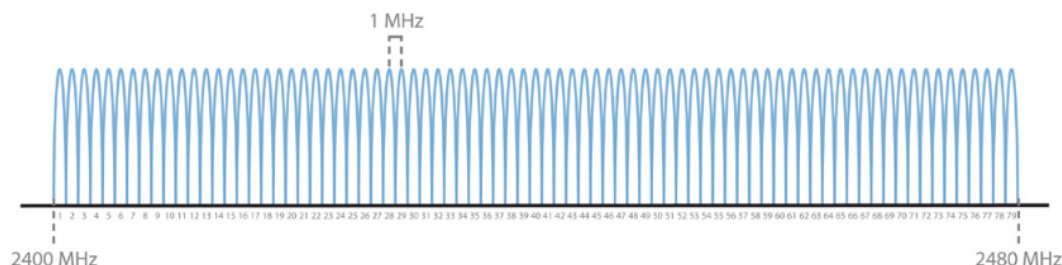
Poglavje 3

Bluetooth

Tehnologija *Bluetooth* deluje na 2,4 GHz frekvenčnem spektru ter sodi v *PAN* (*Personal area network*) omrežja. Prvotne specifikacije zanj je leta 1994 izdelalo podjetje Ericsson. Danes z njim upravlja *Bluetooth Special Interest Group*, ki ima za člane več kot 25 tisoč različnih podjetij. Tehnologija se uporablja predvsem za brezžični prenos zvoka, medsebojno sinhronizacijo aplikacij na različnih napravah (naprimer koledar na prenosnem telefonu in prenosnem računalniku) ter pri brezžičnih vnosnih napravah, kot so miška, tipkovnica in podobno. Zadnji izdani standard pri *Bluetoothu* je verzije 4.2. Ta je izšel leta 2014 in omogoča največjo hitrost 25 Mbps, maksimalni dolet do 60 metrov ter se osredotoča predvsem na področje interneta stvari (*IoT*). S tem imenom opredeljujemo omrežja, v katera so poleg računalniških naprav priključeni še razni senzorji, gospodinjski aparati, vozila, praktično vse stvari, s pomočjo katerih lahko pridobivamo in izmenjujemo podatke.

Bluetooth za prenos uporablja tehnologijo *FHSS* (*Frequency hopping spread spectrum*). Pri tej tehnologiji se prenos vrši preko frekvenčnih kanalov, ki se stalno menjajo glede na psevdonaključno zaporedje, ki ga poznata tako pošiljatelj kot prejemnik. Tako se za prenos uporablja enega izmed 79 kanalov, ki so široki 1 MHz in se razprostirajo med 2400 MHz in 2480 MHz. Prenosni kanal se zamenja 1600-krat na minuto. Verzije *Bluetooth* 4.0 in nadaljnje, imenovane tudi *Smart Bluetooth*, pa uporabljajo 40 2 MHz širokih

kanalov, ravno tako na 2,4 GHz spektru. Razporeditev 79 *Bluetooth* kanalov prikazuje slika 3.1.



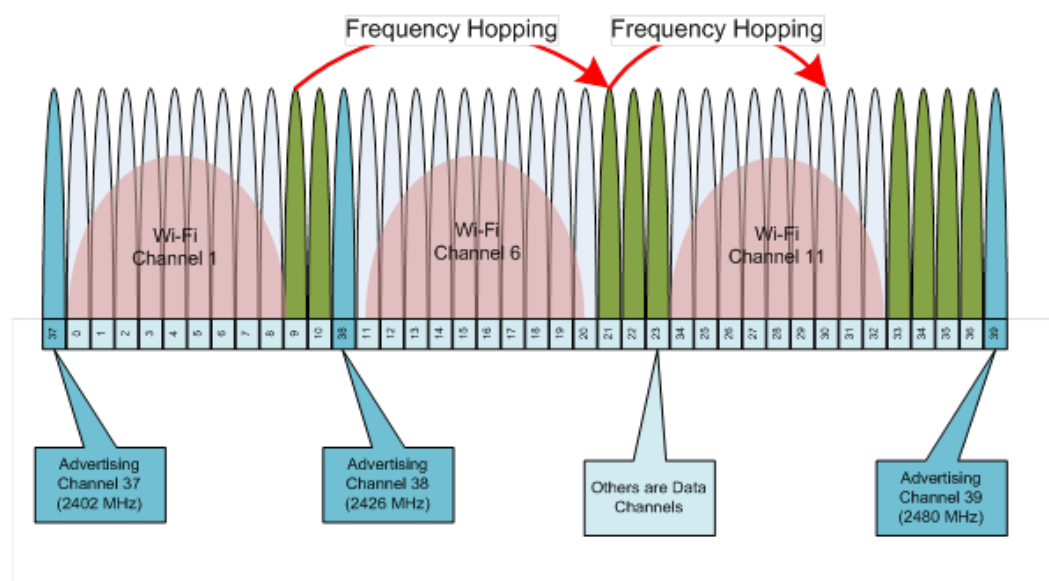
Slika 3.1: Slika prikazuje razporeditev *Bluetooth* kanalov na 2,4GHz spektru[7].

Bluetooth deluje v *master-slave* načinu. Pri tem *master* naprava nadzira in upravlja celoten prenos podatkov. *Master* naprava tudi izbira, kateri kanal bo naslednji izbran in tako vodi *hopping* sekvenco. Že v standardu *Bluetooth* verzije 1.2 se predvideva sobivanje več naprav v istem dometu, ki niso nujno povezane med sabo. Tako standard implementira *Adaptive frequency-hopping spread spectrum (AFHSP)*, ki izboljšuje kakovost prenosa tako, da se izogiba uporabi že zasedenih frekvenc oziroma kanalov.

Poglavje 4

Sobivanje Wi-Fi in Bluetooth naprav

Danes vedno pogosteje prihaja do pojava interferenc znotraj 2,4 GHz spektra, saj smo priča razcvetu brezžične tehnologije. Na trgu je vedno več naprav, ki omogočajo tako Wi-Fi kot tudi *Bluetooth* tehnologijo. Tako pridemo do dejstva, da imamo anteni dveh različnih tehnologij relativno blizu, za povrh vsega pa ti dve tehnologiji lahko uporabljata isti frekvenčni spekter. Slika 4.1 prikazuje, kako se prepletajo Wi-Fi in *Bluetooth* kanali na 2,4 GHz spektru. Pri starejših *Bluetooth* standardih, ki še niso imeli implementirane kvalitetejše *AFHSP* tehnologije, ki bi se ogibala Wi-Fi kanalom, lahko sklepamo, da je v primeru enega zasedenega Wi-Fi kanala *Bluetooth* prenos imel v povprečju pokvarjen vsak četrti paket. Če pa je bilo zasedenih Wi-Fi kanalov več, potem pa se je tudi kvaliteta *Bluetooth* prenosa drastično poslabšala. Kasnejše verzije *Bluetooth* pa implementirajo naprednejšo *AFHSP* tehnologijo, ki v primeru zasedenosti Wi-Fi kanalov izbira samo tiste *Bluetooth* kanale, ki se z aktivnimi Wi-Fi kanali ne prekrivajo. Tako kljub veliki obremenjenosti frekvenčnega spektra še zmeraj obstaja možnost učinkovitega prenosa podatkov preko *Bluetooth* omrežja.



Slika 4.1: Slika prikazuje prekrivanje Wi-Fi in *Smart Bluetooth* kanalov na 2,4 GHz spektru[8].

Poglavje 5

Priprava na meritve v omrežju

Standardi Wi-Fi med drugim specificirajo hitrosti na fizičnem nivoju. Da bi dobili boljši vpogled v dejanske zmogljivosti Wi-Fi omrežja na aplikacijskem nivoju, smo se odločili, da bomo sami sestavili mešano omrežje iz naprav, ki podpirajo standarde 802.11 b/g/n ter *Bluetooth* in opravili vrsto meritev.

5.1 Sestava omrežja

Za sestavo omrežja imamo na voljo naslednje naprave:

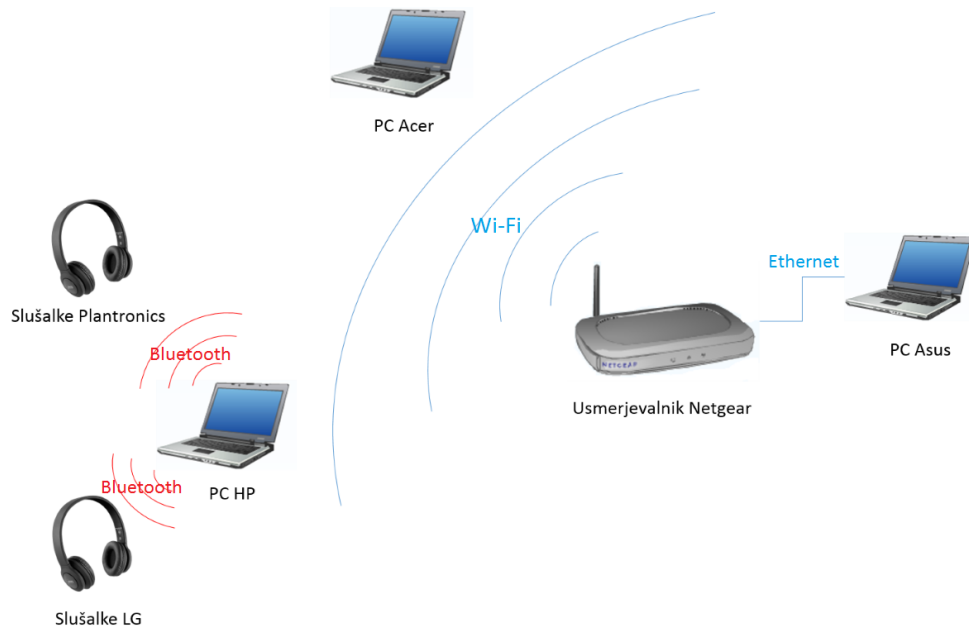
- Prenosnik HP EliteBook 8560w z operacijskim sistemom Microsoft Windows 8.1. Prenosnik vsebuje Wi-Fi mrežno kartico Intel(R) Centrino(R) Advanced-N 6205 in trdi disk Seagate ST9500423AS. Kartica podpira standard 802.11n, dva snopa ter 40 MHz kanal.
- Prenosnik Acer E5-771G-5489 z operacijskim sistemom Microsoft Windows 8.1. Prenosnik vsebuje Wi-Fi mrežno kartico Realtek RTL8723BE. Ta podpira standard 802.11n. To kartico bomo nastavili, da bo delovala v skladu z 802.11b oziroma 802.11g. To bomo naredili s spreminjanjem nastavitve *Wireless mode* na gonilniku v: IEEE 802.11b oziroma IEEE 802.11g.
- Prenosnik Asus G75VX z operacijskim sistemom Microsoft Windows

8.1, ki bo služil kot strežnik za naše meritve. Ta vsebuje trdi disk Hitachi HTS727575A9E364.

- Brežžični usmerjevalnik Netgear WNR3500L, ki podpira standard 802.11n, ter oddaja samo na 2,4 GHz frekvenčnem območju. Pomembne so naslednje nastavitve:
 - Regija: Evropa
 - Kanal: Avto
 - Način: Do 300 Mb/s
 - Varnostne možnosti: WPA2-PSK [AES]
 - Geslo: 123456789
 - Dolžina fragmentacije: 2346
 - Prag *CTS/RTS*: 2347
 - Način uvoda (*preamble*): Dolg uvod
- *Bluetooth* slušalke Plantronics Pulsar 590, ki podpirajo standard *Bluetooth* 2.0. Slušalke so izdelane leta 2005.
- *Bluetooth* slušalke LG HBS-730, ki podpirajo standard *Bluetooth* 3.0. Slušalke so izdelane leta 2012.

Slika 5.1 prikazuje logično postavitev omrežja. Prenosnik Asus, na sliki prikazan pod imenom PC Asus nam bo služil kot strežnik za izvedbo naših meritev. Ta bo s pomočjo *Ethernet* tehnologije povezan z dostopno točko, na sliki prikazano pod imenom Usmerjevalnik Netgear. Na dostopno točko bosta s pomočjo brezžičnega Wi-Fi omrežja povezana prenosnika Acer, na sliki prikazan pod imenom PC Acer, in HP, na sliki prikazan pod imenom PC HP. Prenosnik HP bo v to omrežje povezan stalno in v skladu s standardom 802.11n, prenosnik Acer pa bo v omrežju prisoten le v nekaterih scenarijih, katerih opis boste lahko prebrali v naslednjih podpoglavjih. Pri prenosniku Acer se bosta med različnimi scenariji menjali dve vrsti povezave. Prva

povezava bo implementirana v skladu s standardom 802.11g, druga pa v skladu s standardom 802.11b. Na prenosnik HP bomo v nekaterih scenarijih s pomočjo *Bluetooth* standarda povezali ene izmed slušalk Plantronics oziroma LG. Vse meritve bodo vodene s prenosnika HP.



Slika 5.1: Slika prikazuje logično postavitev omrežja[9][10].

5.2 Potek meritev

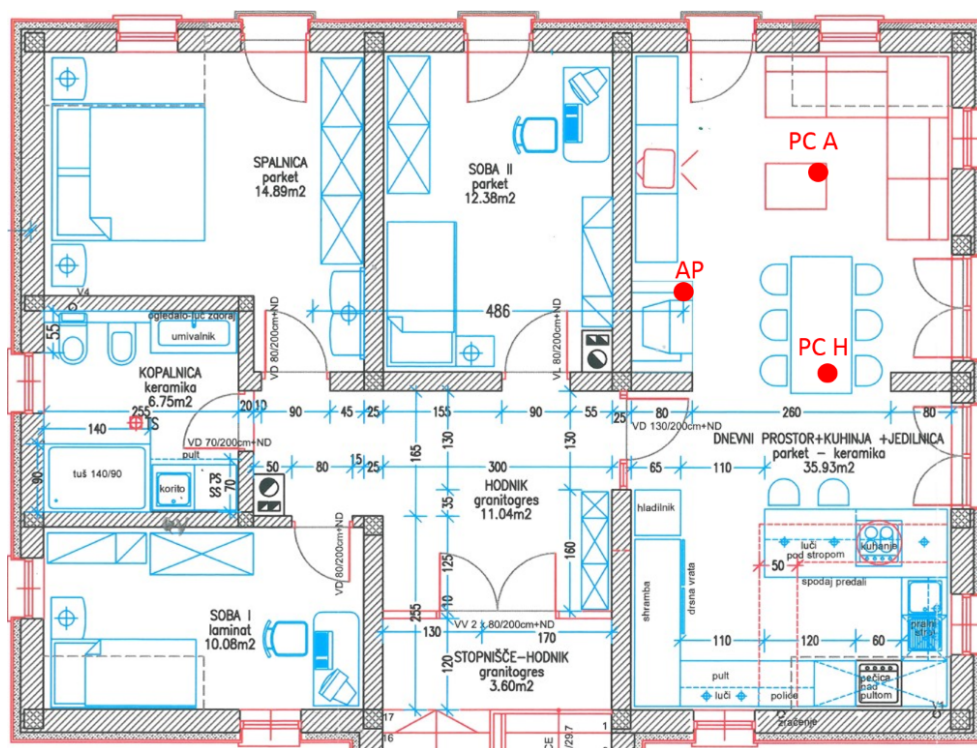
Izvedli bomo dva sklopa meritev, saj bi radi izvedeli, kako se omrežje obnaša, ko so naprave relativno blizu, in kako v primeru večje oddaljenosti med napravami. V prvem sklopu bomo meritve izvedli nad napravami postavljenimi v isti prostor. Te meritve bomo imenovali meritve na krajši razdalji. V drugem sklopu pa bomo naprave porazdelili v različne prostore v etaži stanovanjske hiše. Meritve teh naprav bodo spadale pod meritve na daljši razdalji.

5.2.1 Meritve na krajši razdalji

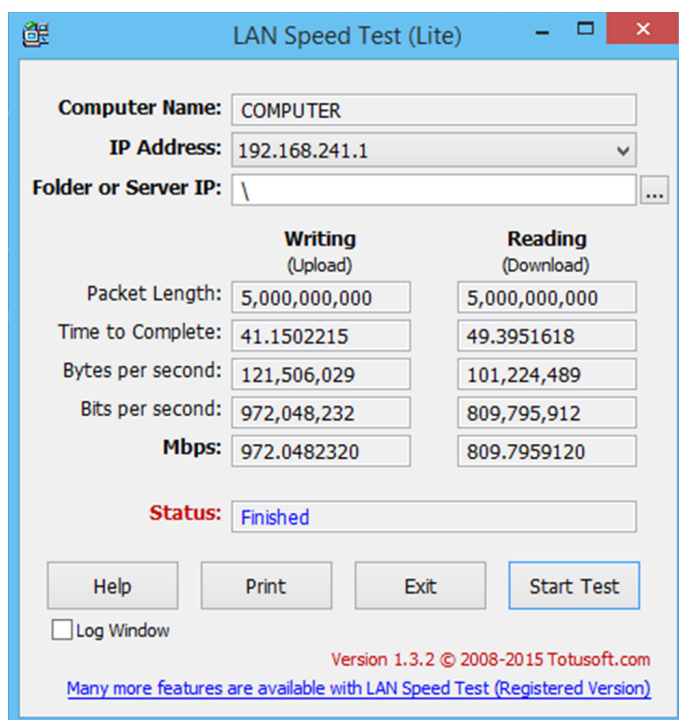
Najprej bomo izmerili, kako se omrežje obnaša, ko so dostopna točka in prenosnika relativno blizu. Slika 5.2 prikazuje fizično razporeditev naprav v prostoru. AP je okrajšava za dostopno točko, PC A predstavlja prenosnik Acer, PC H pa predstavlja prenosnik HP. Dostopna točka bo preko gigabitnega žičnega vmesnika povezana s prenosnikom Asus. Ti dve napravi sta med sabo oddaljeni približno en meter. Ostala prenosnika pa bosta povezana preko Wi-Fi povezave, in sicer HP prenosnik bo povezan vedno v skladu s standardom 802.11n, prenosnik Acer pa bo povezan z 802.11b oziroma 802.11g. V nekaterih primerih pa ga bomo izločili iz omrežja.

S pomočjo programa LAN Speed Test (Lite), katerega grafični vmesnik je prikazan na sliki 5.3, bomo izmerili hitrost tako, da bomo na prenosniku HP ustvarili datoteko, to bomo poslali na trdi disk prenosnika Asus, nato pa jo bomo od tam še enkrat prebrali s prenosnikom HP. Vsaka meritev bo trajala približno 20 sekund, zato se bo velikost datoteke med različnimi meritvami spreminjala. V program je najprej potrebno vnesti ciljno mapo, kamor se bo datoteka, s pomočjo katere merimo prenosno hitrost, zapisala. V našem primeru izberemo poljubno mapo v prenosniku Asus. Nato je potrebno vnesti velikost datoteke v megabajtih, ki jo bo program generiral in prenesel v ciljno mapo. Ko to opravimo, potem lahko zaženemo test. Po končanem testu nam program izpiše čas trajanja prenosa datoteke v ciljno mapo ter hitrost prenosa v bajtih na sekundo, bitih na sekundo in megabitih na sekundo. To ponovi

še za branje datoteke iz ciljne mape. Vsak scenarij meritev bomo ponovili 10 krat. S tem bomo dobili podatke tako za prejemanje kot tudi za oddajanje. Opcijsko bomo poleg prenašanja predvajali glasbo preko *Bluetooth* slušalk, to pa zato, da preverimo medsebojni vpliv med Wi-Fi in *Bluetooth* tehnologijo. Maksimalna hitrost prenosa *Bluetooth* slušalk na fizični ravni, opisanih v tej diplomski nalogi, se giblje okoli 3 Mbps.



Slika 5.2: Slika prikazuje postavitev posameznih naprav na krajši razdalji.



Slika 5.3: Slika prikazuje grafični vmesnik programa LAN Speed Test (Lite).

Scenarij 1

V omrežje sta povezana prenosnika HP (PC H) in Asus (na sliki postavitve ni označen). Prenosnik HP je z dostopno točko (AP) povezan preko Wi-Fi mrežne kartice, ki deluje v skladu s standardom 802.11n. Dostopna točka in prenosnik Asus sta med sabo povezana z gigabitno Ethernet povezavo in sta približno en meter oddaljena drug od drugega.

S pomočjo programa LAN Speed Test (Lite) se izvrši meritev tako, da se najprej generira datoteka velikosti 400 MB, nato pa se jo prenese iz prenosnika HP na prenosnik Asus in nazaj, pri tem pa se meri tako hitrost prenosa na strežnik (PC A) kot hitrost prenosa s strežnika. Tako za hitrost prenosa na strežnik kot tudi hitrost prenosa s strežnika predvidevamo prenosno hitrost okoli 200 Mbps.

Scenarij 2

V omrežje sta povezana prenosnika HP (PC H) in Asus (na sliki postavitve ni označen). Prenosnik HP je z dostopno točko (AP) povezan preko Wi-Fi mrežne kartice, ki deluje v skladu s standardom 802.11n. Dostopna točka in prenosnik Asus sta med sabo povezana z gigabitno Ethernet povezavo in sta približno en meter oddaljena drug od drugega. Na prenosnik HP so z *Bluetooth* povezavo priključene slušalke LG, s pomočjo katerih v času izvajanja meritve predvajamo glasbo. Te slušalke podpirajo standard *Bluetooth* 3.0.

S pomočjo programa LAN Speed Test (Lite) se izvrši meritev tako, da se najprej generira datoteka velikosti 100 MB, nato pa se jo prenese iz prenosnika HP na prenosnik Asus in nazaj, pri tem pa se meri tako hitrost prenosa na strežnik (PC A) kot hitrost prenosa s strežnika. Tako za hitrost prenosa na strežnik kot tudi hitrost prenosa s strežnika predvidevamo prenosno hitrost okoli 200 Mbps. Slušalke naj bi tekom meritve delale normalno, saj podpirajo novejši *Bluetooth* standard, ki se zna izogibati zasedenim kanalom.

Scenarij 3

V omrežje sta povezana prenosnika HP (PC H) in Asus (na sliki postavitve ni označen). Prenosnik HP je z dostopno točko (AP) povezan preko Wi-Fi mrežne kartice, ki deluje v skladu s standardom 802.11n. Dostopna točka in prenosnik Asus sta med sabo povezana z gigabitno Ethernet povezavo in sta približno en meter oddaljena drug od drugega. Na prenosnik HP so z *Bluetooth* povezavo priključene slušalke Pulsar, s pomočjo katerih v času izvajanja meritve predvajamo glasbo. Te slušalke podpirajo standard *Bluetooth* 2.0.

S pomočjo programa LAN Speed Test (Lite) se izvrši meritev tako, da se najprej generira datoteka velikosti 100 MB, nato pa se jo prenese iz prenosnika HP na prenosnik Asus in nazaj, pri tem pa se meri tako hitrost prenosa na strežnik (PC A) kot hitrost prenosa s strežnika. Tako za hitrost prenosa na strežnik kot tudi hitrost prenosa s strežnika predvidevamo prenosno hitrost okoli 190 Mbps. V slušalkah bi lahko tekom meritve prišlo do hreščanja

oziroma prekinitev predvajanja, saj te slušalke podpirajo starejši *Bluetooth* standard, ki se po naših domnevah ne zna dobro izogibati zasedenim kanalom.

Scenarij 4

V omrežje so povezani prenosniki HP (PC H), Asus (na sliki postavitve ni označen) in Acer (PC A). Prenosnik HP je z dostopno točko (AP) povezan preko Wi-Fi mrežne kartice, ki deluje v skladu s standardom 802.11n. Dostopna točka in prenosnik Asus sta med sabo povezana z gigabitno Ethernet povezavo in sta približno en meter oddaljena drug od drugega. Prenosnik Acer je z dostopno točko povezan preko Wi-Fi mrežne kartice, ki deluje v skladu s standardom 802.11g.

S pomočjo programa LAN Speed Test (Lite) se izvrši meritev tako, da se najprej generira datoteka velikosti 300 MB, nato pa se jo prenese iz prenosnika HP na prenosnik Asus in nazaj, pri tem pa se meri tako hitrost prenosa na strežnik (PC A) kot hitrost prenosa s strežnika. Tako za hitrost prenosa na strežnik kot tudi hitrost prenosa s strežnika predvidevamo prenosno hitrost okoli 180 Mbps, saj se morajo glave okvirjev prenašati tako, da jih bo standard 802.11g lahko sprejel.

Scenarij 5

V omrežje so povezani prenosniki HP (PC H), Asus (na sliki postavitve ni označen) in Acer (PC A). Prenosnik HP je z dostopno točko (AP) povezan preko Wi-Fi mrežne kartice, ki deluje v skladu s standardom 802.11n. Dostopna točka in prenosnik Asus sta med sabo povezana z gigabitno Ethernet povezavo in sta približno en meter oddaljena drug od drugega. Prenosnik Acer je z dostopno točko povezan preko Wi-Fi mrežne kartice, ki deluje v skladu s standardom 802.11g. Na prenosnik HP so z *Bluetooth* povezavo priključene slušalke LG, s pomočjo katerih v času izvajanja meritve predvajamo glasbo. Te slušalke podpirajo standard *Bluetooth* 3.0.

S pomočjo programa LAN Speed Test (Lite) se izvrši meritev tako, da

se najprej generira datoteka velikosti 100 MB, nato pa se jo prenese iz prenosnika HP na prenosnik Asus in nazaj, pri tem pa se meri tako hitrost prenosa na strežnik (PC A) kot hitrost prenosa s strežnika. Tako za hitrost prenosa na strežnik kot tudi hitrost prenosa s strežnika predvidevamo prenosno hitrost okoli 180 Mbps, saj se morajo glave okvirjev prenašati tako, da jih bo standard 802.11g lahko sprejel. Slušalke naj bi tekom meritve delale normalno, saj podpirajo novejši *Bluetooth* standard, ki se zna izogibati zasedenim kanalom.

Scenarij 6

V omrežje so povezani prenosniki HP (PC H), Asus (na sliki postavitve ni označen) in Acer (PC A). Prenosnik HP je z dostopno točko (AP) povezan preko Wi-Fi mrežne kartice, ki deluje v skladu s standardom 802.11n. Dostopna točka in prenosnik Asus sta med sabo povezana z gigabitno Ethernet povezavo in sta približno en meter oddaljena drug od drugega. Prenosnik Acer je z dostopno točko povezan preko Wi-Fi mrežne kartice, ki deluje v skladu s standardom 802.11g. Na prenosnik HP so z *Bluetooth* povezavo priključene slušalke Pulsar, s pomočjo katerih v času izvajanja meritve predvajamo glasbo. Te slušalke podpirajo standard *Bluetooth* 2.0.

S pomočjo programa LAN Speed Test (Lite) se izvrši meritev tako, da se najprej generira datoteka velikosti 100 MB, nato pa se jo prenese iz prenosnika HP na prenosnik Asus in nazaj, pri tem pa se meri tako hitrost prenosa na strežnik (PC A) kot hitrost prenosa s strežnika. Tako za hitrost prenosa na strežnik kot tudi hitrost prenosa s strežnika predvidevamo prenosno hitrost okoli 170 Mbps, saj se morajo glave okvirjev prenašati tako, da jih bo standard 802.11g lahko sprejel, slušalke pa potencialno motijo Wi-Fi prenos, saj te slušalke podpirajo starejši *Bluetooth* standard, ki se po naših domnevah ne zna dobro izogibati zasedenim kanalom. Poleg tega bi lahko v slušalkah tekom meritve prišlo do hreščanja oziroma prekinitev predvajanja.

Scenarij 7

V omrežje so povezani prenosniki HP (PC H), Asus (na sliki postavitve ni označen) in Acer (PC A). Prenosnik HP je z dostopno točko (AP) povezan preko Wi-Fi mrežne kartice, ki deluje v skladu s standardom 802.11n. Dostopna točka in prenosnik Asus sta med sabo povezana z gigabitno Ethernet povezavo in sta približno en meter oddaljena drug od drugega. Prenosnik Acer je z dostopno točko povezan preko Wi-Fi mrežne kartice, ki deluje v skladu s standardom 802.11b.

S pomočjo programa LAN Speed Test (Lite) se izvrši meritev tako, da se najprej generira datoteka velikosti 300 MB, nato pa se jo prenese iz prenosnika HP na prenosnik Asus in nazaj, pri tem pa se meri tako hitrost prenosa na strežnik (PC A) kot hitrost prenosa s strežnika. Tako za hitrost prenosa na strežnik kot tudi hitrost prenosa s strežnika predvidevamo prenosno hitrost okoli 150 Mbps, saj se morajo glave okvirjev prenašati tako, da jih bo standard 802.11b lahko sprejel, poleg tega pa je potrebno pri oddajanju menjavati modulacijo, ravno tako zaradi potreb standarda 802.11b.

Scenarij 8

V omrežje so povezani prenosniki HP (PC H), Asus (na sliki postavitve ni označen) in Acer (PC A). Prenosnik HP je z dostopno točko (AP) povezan preko Wi-Fi mrežne kartice, ki deluje v skladu s standardom 802.11n. Dostopna točka in prenosnik Asus sta med sabo povezana z gigabitno Ethernet povezavo in sta približno en meter oddaljena drug od drugega. Prenosnik Acer je z dostopno točko povezan preko Wi-Fi mrežne kartice, ki deluje v skladu s standardom 802.11b. Na prenosnik HP so z *Bluetooth* povezavo priključene slušalke LG, s pomočjo katerih v času izvajanja meritve predvajamo glasbo. Te slušalke podpirajo standard *Bluetooth* 3.0.

S pomočjo programa LAN Speed Test (Lite) se izvrši meritev tako, da se najprej generira datoteka velikosti 100 MB, nato pa se jo prenese iz prenosnika HP na prenosnik Asus in nazaj, pri tem pa se meri tako hitrost prenosa na strežnik (PC A) kot hitrost prenosa s strežnika. Tako za hitrost prenosa

na strežnik kot tudi hitrost prenosa s strežnika predvidevamo prenosno hitrost okoli 150 Mbps, saj se morajo glave okvirjev prenašati tako, da jih bo standard 802.11b lahko sprejel, poleg tega pa je potrebno pri oddajanju menjavati modulacijo, ravno tako zaradi potreb standarda 802.11b. Slušalke naj bi tekom meritve delale normalno, saj podpirajo novejši *Bluetooth* standard, ki se zna izogibati zasedenim kanalom.

Scenarij 9

V omrežje so povezani prenosniki HP (PC H), Asus (na sliki postavitve ni označen) in Acer (PC A). Prenosnik HP je z dostopno točko (AP) povezan preko Wi-Fi mrežne kartice, ki deluje v skladu s standardom 802.11n. Dostopna točka in prenosnik Asus sta med sabo povezana z gigabitno Ethernet povezavo in sta približno en meter oddaljena drug od drugega. Prenosnik Acer je z dostopno točko povezan preko Wi-Fi mrežne kartice, ki deluje v skladu s standardom 802.11b. Na prenosnik HP so z *Bluetooth* povezavo priključene slušalke Pulsar, s pomočjo katerih v času izvajanja meritve predvajamo glasbo. Te slušalke podpirajo standard *Bluetooth* 2.0.

S pomočjo programa LAN Speed Test (Lite) se izvrši meritev tako, da se najprej generira datoteka velikosti 100 MB, nato pa se jo prenese iz prenosnika HP na prenosnik Asus in nazaj, pri tem pa se meri tako hitrost prenosa na strežnik (PC A) kot hitrost prenosa s strežnika. Tako za hitrost prenosa na strežnik kot tudi hitrost prenosa s strežnika predvidevamo prenosno hitrost okoli 130 Mbps, saj se morajo glave okvirjev prenašati tako, da jih bo standard 802.11b lahko sprejel, poleg tega pa je potrebno pri oddajanju menjavati modulacijo, ravno tako zaradi potreb standarda 802.11b. Slušalke potencialno motijo Wi-Fi prenos, saj le te podpirajo starejši *Bluetooth* standard, ki se po naših domnevah ne zna dobro izogibati zasedenim kanalom. Poleg tega bi lahko v slušalkah tekom meritve prišlo do hreščanja oziroma prekinitvev predvajanja.

5.2.2 Meritve na daljši razdalji

Izvedli bomo tudi meritve na daljši razdalji, kot prikazuje slika 5.4. Te meritve so večinoma identične tistim na krajši razdalji, saj je sprememba samo v postavitvi naprav v prostoru ter v velikosti prenesenih datotek, s pomočjo katerih izmerimo prenosno hitrost. Tako so pod posameznim scenarijem navedene izključno razlike med danim scenarijem na daljši razdalji in temu primerljivim scenarijem na krajši razdalji.

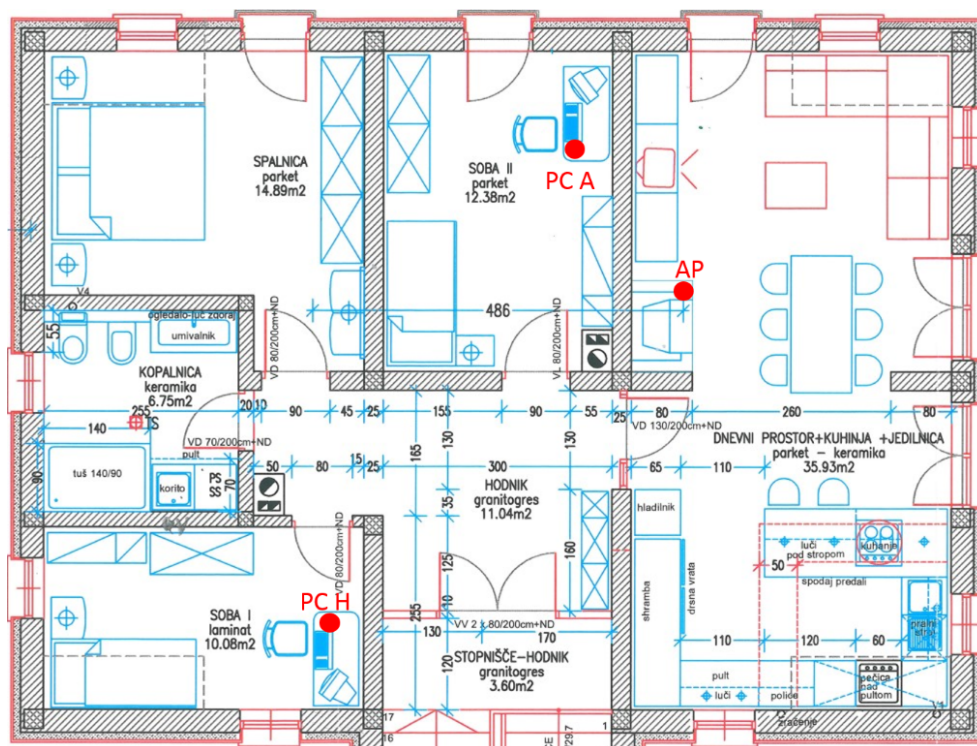
Na sliki 5.4 AP predstavlja dostopno točko, PC A predstavlja prenosnik Acer, PC H pa predstavlja prenosnik HP. Dostopna točka bo preko gigabitnega žičnega vmesnika povezana s prenosnikom Asus. Ti dve napravi sta med sabo oddaljeni približno en meter. Ostala prenosnika pa bosta povezana preko Wi-Fi povezave, in sicer HP prenosnik bo povezan vedno v skladu s standardom 802.11n, prenosnik Acer pa bo povezan z 802.11b oziroma 802.11g. V nekaterih primerih pa ga bomo izločili iz omrežja. *Bluetooth* slušalke se nahajajo v istem prostoru kot prenosnik HP.

Scenarij 1

Pri tem scenariju se za merjenje hitrosti uporablja datoteka velikosti 70 MB. Ostale specifikacije so identične tistim v istem scenariju na krajši razdalji. Tako za hitrost prenosa na strežnik kot tudi hitrost prenosa s strežnika predvidevamo prenosno hitrost okoli 40 Mbps zaradi večje oddaljenosti med napravami.

Scenarij 2

Pri tem scenariju se za merjenje hitrosti uporablja datoteka velikosti 30 MB. Ostale specifikacije so identične tistim v istem scenariju na krajši razdalji. Tako za hitrost prenosa na strežnik kot tudi hitrost prenosa s strežnika predvidevamo prenosno hitrost okoli 40 Mbps zaradi večje oddaljenosti med napravami. Slušalke naj bi tekom meritve delale normalno, saj podpirajo novejši *Bluetooth* standard, ki se zna izogibati zasedenim kanalom.



Slika 5.4: Slika prikazuje postavitev posameznih naprav na daljši razdalji.

Scenarij 3

Pri tem scenariju se za merjenje hitrosti uporablja datoteka velikosti 30 MB. Ostale specifikacije so identične tistim v istem scenariju na krajši razdalji. Tako za hitrost prenosa na strežnik kot tudi hitrost prenosa s strežnika predvidevamo prenosno hitrost okoli 35 Mbps zaradi večje oddaljenosti med napravami, poleg tega pa lahko pride do pojava interference med *Bluetooth* in Wi-Fi signalom. V slušalkah bi lahko tekom meritve prišlo do hreščanja oziroma prekinitev predvajanja, saj te slušalke podpirajo starejši *Bluetooth* standard, ki se po naših domnevah ne zna dobro izogibati zasedenim kanalom.

Scenarij 4

Pri tem scenariju se za merjenje hitrosti uporablja datoteka velikosti 70 MB. Ostale specifikacije so identične tistim v istem scenariju na krajši razdalji. Tako za hitrost prenosa na strežnik kot tudi hitrost prenosa s strežnika predvidevamo prenosno hitrost okoli 30 Mbps, saj se morajo glave okvirjev prenašati tako, da jih bo standard 802.11g lahko sprejel, poleg tega pa je prisotna še večja oddaljenost med napravami.

Scenarij 5

Pri tem scenariju se za merjenje hitrosti uporablja datoteka velikosti 20 MB. Ostale specifikacije so identične tistim v istem scenariju na krajši razdalji. Tako za hitrost prenosa na strežnik kot tudi hitrost prenosa s strežnika predvidevamo prenosno hitrost okoli 30 Mbps, saj se morajo glave okvirjev prenašati tako, da jih bo standard 802.11g lahko sprejel, poleg tega pa je prisotna še večja oddaljenost med napravami. Slušalke naj bi tekom meritve delale normalno, saj podpirajo novejši *Bluetooth* standard, ki se zna izogibati zasedenim kanalom.

Scenarij 6

Pri tem scenariju se za merjenje hitrosti uporablja datoteka velikosti 25 MB. Ostale specifikacije so identične tistim v istem scenariju na krajši razdalji. Tako za hitrost prenosa na strežnik kot tudi hitrost prenosa s strežnika predvidevamo prenosno hitrost okoli 25 Mbps, saj se morajo glave okvirjev prenašati tako, da jih bo standard 802.11g lahko sprejel, prisotna je večja oddaljenost med napravami, slušalke pa potencialno motijo Wi-Fi prenos, saj te slušalke podpirajo starejši *Bluetooth* standard, ki se po naših domnevah ne zna dobro izogibati zasedenim kanalom. Poleg tega bi lahko v slušalkah tekom meritve prišlo do hreščanja oziroma prekinitev predvajanja.

Scenarij 7

Pri tem scenariju se za merjenje hitrosti uporablja datoteka velikosti 70 MB. Ostale specifikacije so identične tistim v istem scenariju na krajši razdalji. Tako za hitrost prenosa na strežnik kot tudi hitrost prenosa s strežnika predvidevamo prenosno hitrost okoli 15 Mbps, saj se morajo glave okvirjev prenašati tako, da jih bo standard 802.11b lahko sprejel, prisotna je tudi večja oddaljenost med napravami, poleg tega pa je potrebno pri oddajanju menjavati modulacijo, ravno tako zaradi potreb standarda 802.11b.

Scenarij 8

Pri tem scenariju se za merjenje hitrosti uporablja datoteka velikosti 15 MB. Ostale specifikacije so identične tistim v istem scenariju na krajši razdalji. Tako za hitrost prenosa na strežnik kot tudi hitrost prenosa s strežnika predvidevamo prenosno hitrost okoli 15 Mbps, saj se morajo glave okvirjev prenašati tako, da jih bo standard 802.11b lahko sprejel, prisotna je tudi večja oddaljenost med napravami, poleg tega pa je potrebno pri oddajanju menjavati modulacijo, ravno tako zaradi potreb standarda 802.11b. Slušalke naj bi tekom meritve delale normalno, saj podpirajo novejši *Bluetooth* standard, ki se zna izogibati zasedenim kanalom.

Scenarij 9

Pri tem scenariju se za merjenje hitrosti uporablja datoteka velikosti 20 MB. Ostale specifikacije so identične tistim v istem scenariju na krajši razdalji. Tako za hitrost prenosa na strežnik kot tudi hitrost prenosa s strežnika predvidevamo prenosno hitrost okoli 10 Mbps, saj se morajo glave okvirjev prenašati tako, da jih bo standard 802.11b lahko sprejel, prisotna je večja oddaljenost med napravami, poleg tega pa je potrebno pri oddajanju menjavati modulacijo, ravno tako zaradi potreb standarda 802.11b. Slušalke potencialno motijo Wi-Fi prenos, saj le te podpirajo starejši *Bluetooth* standard, ki se po naših domnevah ne zna dobro izogibati zasedenim kanalom. Poleg tega

bi lahko v slušalkah tekom meritve prišlo do hreščanja oziroma prekinitev predvajanja.

Poglavje 6

Rezultati meritev

Večino rezultatov bomo prikazali numerično. Za prikaz kvalitete predvajanega zvoka v slušalkah pa smo se odločili za opisno ocenjevanje, saj nismo imeli ustrezne opreme za merjenje motenj v *Bluetooth* prenosu. Ocenjevanje je bilo sestavljeno iz sledečih ocen in se je nanašalo na kvaliteto zvoka v slušalkah:

- Dobra. Ta ocena pomeni, da so slušalke predvajale zvok brez večjih težav in z minimalnimi prekinitevami.
- Srednja. Ta ocena pomeni, da se je v slušalkah pojavilo več prekinitev v primerjavi z oceno dobro. Slušalke so bile zaradi prekinitev na meji uporabnega.
- Slaba. Ta ocena pomeni, da slušalke zaradi prevelikega števila oziroma predolgega trajanja prekinitev niso bile več uporabne.

6.1 Meritve na krajši razdalji

Pred pričetkom meritev smo izmerili moč signala dostopne točke na prenosniku HP. Ta je bila velikosti -37 dBm. Dostopna točka je oddajala na dveh združenih kanalih hkrati, skupne frekvenčne širine 40 MHz konfiguracije 6+10 (zasedajo kanala 6 in 10).

Scenarij 1

Velikost prenesene datoteke je 400 MB. Za ta scenarij smo predvidevali prenosne hitrosti okoli 200 Mbps. Dejanska prenosna hitrost s strežnika odstopa približno za 6 Mbps, prenosna hitrost na strežnik pa za približno 54 Mbps. Med prenosnimi hitrosti s strežnika ni večjih razlik, posledično je tudi standardni odklon majhen. Ta scenarij ima največje prenosne hitrosti izmed vseh, saj smo pri prenašanju uporabili izključno standard 802.11n. Priključena ni bila nobena *Bluetooth* naprava. Za približno polovico bolj od prenosnih hitrosti s strežnika pa nihajo prenosne hitrosti na strežnik. Mnenja smo, da je to posledica tega, da je prednostna funkcija dostopne točke prenos podatkov s strežnika in posledično prenos podatkov z dostopne točke. Tako je dostopna točka optimizirana za oddajanje.

Št. poizkusa	Prenos na strežnik (Mbps)	Prenos s strežnika (Mbps)
1	151	191
2	139	197
3	151	197
4	144	195
5	137	194
6	153	193
7	156	187
8	148	197
9	144	197
10	137	195
Povprečje	146	194,3
Standardni odklon	6,5	3,1

Tabela 6.1: Tabela prikazuje hitrosti prenosa na krajši razdalji pri scenariju 1.

Scenarij 2

Velikost prenesene datoteke je 100 MB. Pri tem scenariju smo predvidevali, da se bodo prenosne hitrosti gibale okoli 200 Mbps. Dejanske prenosne hitrosti so dosti nižje in za prenos na strežnik v povprečju dosegajo 74 Mbps, pri prenosu s strežnika pa 91,1 Mbps. V povprečju je kvaliteta predvajanega zvoka v slušalkah slaba, kar nas glede na naše napovedi preseneča. V primerjavi s scenarijem 1 se pri uporabi LG *Bluetooth* slušalk prenosne hitrosti približno razpolovijo. Hitrosti med sabo tudi precej nihajo, saj so te dosti večje v primeru, če uspe *Bluetooth* in Wi-Fi prenosu zasesti različne frekvenčne kanale, tako da se le ti med seboj ne prekrivajo. Posledično je tudi standardni odklon tako za prenos na strežnik kot tudi prenos s strežnika precej velik. V primeru prekrivanja med Wi-Fi in *Bluetooth* kanali pride do kolizij in kvaliteta prenosa na obeh straneh pade, Wi-Fi pa mora vsak okvarjen okvir poslati ponovno.

Št. poizkusa	Prenos na strežnik (Mbps)	Prenos s strežnika (Mbps)	Kvaliteta zvoka v slušalkah
1	80	78	Dobra
2	75	84	Dobra
3	67	81	Srednja
4	73	70	Srednja
5	94	124	Slaba
6	74	119	Slaba
7	92	117	Slaba
8	90	122	Slaba
9	49	60	Slaba
10	50	56	Slaba
Povprečje	74,4	91,1	Slaba
Standardni odklon	15	25,4	/

Tabela 6.2: Tabela prikazuje hitrosti prenosa na krajši razdalji pri scenariju 2.

Scenarij 3

Velikost prenesene datoteke je 100 MB. Pri tem scenariju smo predvidevali prenosne hitrosti okoli 190 Mbps. Dejansko pa so v povprečju prenosne hitrosti precej manjše, in sicer pri prenosu na strežnik dosežajo 91 Mbps, pri prenosu s strežnika pa 97 Mbps. V povprečju je kvaliteta predvajanega zvoka v slušalkah slaba, kar je skladno z našimi napovedmi za Pulsar slušalke. Hitrosti med sabo tudi precej nihajo, saj so te dosti večje v primeru, če uspe *Bluetooth* in Wi-Fi prenosu zasesti različne frekvenčne kanale, tako da se le ti med seboj ne prekrivajo. Posledično je tudi standardni odklon tako za prenos na strežnik kot tudi prenos s strežnika velik. V primeru prekrivanja med Wi-Fi in *Bluetooth* kanali pride do kolizij in kvaliteta prenosa na obeh straneh pade, Wi-Fi pa mora vsak okvarjen okvir poslati ponovno. Pri tem scenariju preseneča to, da so prenosne hitrosti večje kot pri scenariju 2, kar je v nasprotju z našimi predvidevanji.

Št. poizkusa	Prenos na strežnik (Mbps)	Prenos s strežnika (Mbps)	Kvaliteta zvoka v slušalkah
1	92	109	Slaba
2	96	104	Dobra
3	88	88	Dobra
4	67	73	Srednja
5	92	88	Slaba
6	93	87	Srednja
7	95	90	Slaba
8	89	83	Slaba
9	91	124	Slaba
10	104	126	Slaba
Povprečje	90,7	97,2	Slaba
Standardni odklon	9	16,9	/

Tabela 6.3: Tabela prikazuje hitrosti prenosa na krajši razdalji pri scenariju 3.

Scenarij 4

Velikost prenesene datoteke je 300 MB. Pri tem scenariju smo predvidevali prenosne hitrosti okoli 180 Mbps. Dejansko pa so v povprečju prenosne hitrosti sledeče, in sicer pri prenosu na strežnik dosegaajo 128 Mbps, pri prenosu s strežnika pa 185 Mbps. Precej nihajo prenosne hitrosti s strežnika, posledično je za te parametre tudi standardni odklon precej velik. Pri tem scenariju smo uporabljali standarda Wi-Fi 802.11n in 802.11g. Posledično v primerjavi s scenarijem 1 prenosne hitrosti malenkost padejo, preseneča pa nas to, da je padec veliko večji pri prenosu na strežnik.

Št. poizkusa	Prenos na strežnik (Mbps)	Prenos s strežnika (Mbps)
1	127	195
2	131	148
3	127	194
4	125	193
5	128	150
6	128	194
7	124	195
8	129	194
9	131	191
10	126	194
Povprečje	127,6	184,8
Standardni odklon	2,2	17,9

Tabela 6.4: Tabela prikazuje hitrosti prenosa na krajši razdalji pri scenariju 4.

Scenarij 5

Velikost prenesene datoteke je 100 MB. Pri tem scenariju smo predvidevali, da se bodo prenosne hitrosti gibale okoli 180 Mbps. Dejanske prenosne hitrosti so dosti nižje in za prenos na strežnik v povprečju dosegaajo 82 Mbps, pri prenosu s strežnika pa 83 Mbps. V povprečju je kvaliteta predvajanega zvoka v slušalkah slaba, kar nas glede na naše napovedi preseneča. Pri tem scenariju smo uporabljali standarda Wi-Fi 802.11n in 802.11g. V primerjavi

s scenarijem 4 so pri uporabi LG *Bluetooth* slušalk prenosne hitrosti bistveno nižje. Hitrosti med sabo tudi precej nihajo, saj so te dosti večje v primeru, če uspe *Bluetooth* in Wi-Fi prenosu zasesti različne frekvenčne kanale, tako da se le ti med seboj ne prekrivajo. Posledično je tudi standardni odklon tako za prenos na strežnik kot tudi prenos s strežnika precej velik. V primeru prekrivanja med Wi-Fi in *Bluetooth* kanali pride do kolizij in kvaliteta prenosa na obeh straneh pade, Wi-Fi pa mora vsak okvarjen okvir poslati ponovno.

Št. poizkusa	Prenos na strežnik (Mbps)	Prenos s strežnika (Mbps)	Kvaliteta zvoka v slušalkah
1	99	126	Dobra
2	98	125	Srednja
3	58	50	Slaba
4	76	63	Dobra
5	73	61	Srednja
6	82	76	Dobra
7	70	56	Srednja
8	80	69	Dobra
9	79	62	Srednja
10	109	142	Dobra
Povprečje	82,4	83	Srednja
Standardni odklon	14,6	32,4	/

Tabela 6.5: Tabela prikazuje hitrosti prenosa na krajši razdalji pri scenariju 5.

Scenarij 6

Velikost prenesene datoteke je 100 MB. Pri tem scenariju smo predvidevali, da se bodo prenosne hitrosti gibale okoli 170 Mbps. Dejanske prenosne hitrosti so dosti nižje in za prenos na strežnik v povprečju dosegajo 113 Mbps, pri prenosu s strežnika pa 130 Mbps. Pri tem scenariju smo uporabljali standarda Wi-Fi 802.11n in 802.11g. V povprečju je kvaliteta predvajanega zvoka v slušalkah slaba, kar je skladno z našimi napovedmi za Pulsar slušalke. Hitrosti prenosa s strežnika med sabo tudi precej nihajo, saj so te dosti večje v

primeru, če uspe *Bluetooth* in Wi-Fi prenosu zasesti različne frekvenčne kanale, tako da se le ti med seboj ne prekrivajo. Posledično je tudi standardni odklon za prenos s strežnika velik. Preseneča pa to, da je pri prenosnih hitrostih na strežnik standardni odklon majhen. V primeru prekrivanja med Wi-Fi in *Bluetooth* kanali pride do kolizij in kvaliteta prenosa na obeh straneh pade, Wi-Fi pa mora vsak okvarjen okvir poslati ponovno. Pri tem scenariju preseneča to, da so prenosne hitrosti večje kot pri scenariju 5, kar je v nasprotju z našimi predvidevanji.

Št. poizkusa	Prenos na strežnik (Mbps)	Prenos s strežnika (Mbps)	Kvaliteta zvoka v slušalkah
1	119	136	Slaba
2	114	131	Slaba
3	114	125	Slaba
4	115	134	Slaba
5	108	137	Slaba
6	113	154	Slaba
7	109	122	Slaba
8	115	146	Slaba
9	112	102	Slaba
10	108	113	Slaba
Povprečje	112,7	130	Slaba
Standardni odklon	3,3	14,5	/

Tabela 6.6: Tabela prikazuje hitrosti prenosa na krajši razdalji pri scenariju 6.

Scenarij 7

Velikost prenesene datoteke je 300 MB. Pri tem scenariju smo predvidevali prenosne hitrosti okoli 150 Mbps. Dejansko pa so v povprečju prenosne hitrosti sledeče, in sicer pri prenosu na strežnik dosega 98 Mbps, pri prenosu s strežnika pa 157 Mbps. Pri merjenju nismo zaznali večjih nihanj med posameznimi prenosnimi hitrostmi. Pri tem scenariju smo uporabljali standarda Wi-Fi 802.11n in 802.11b, posledično je občutiti večji padec prenosnih hitro-

sti v primerjavi s scenarijem 4. Preseneča pa nas to, da je padec veliko večji pri prenosu na strežnik.

Št. poizkusa	Prenos na strežnik (Mbps)	Prenos s strežnika (Mbps)
1	99	161
2	97	162
3	102	161
4	97	161
5	101	160
6	94	155
7	96	153
8	97	159
9	100	161
10	96	135
Povprečje	97,9	156,8
Standardni odklon	2,4	7,8

Tabela 6.7: Tabela prikazuje hitrosti prenosa na krajši razdalji pri scenariju 7.

Scenarij 8

Velikost prenesene datoteke je 100 MB. Pri tem scenariju smo predvidevali, da se bodo prenosne hitrosti gibale okoli 150 Mbps. Dejanske prenosne hitrosti so dosti nižje in za prenos na strežnik v povprečju dosegaajo 57 Mbps, pri prenosu s strežnika pa 75 Mbps. V povprečju je kvaliteta predvajanega zvoka v slušalkah dobra, kar je v skladu z našimi napovedmi. Pri tem scenariju smo uporabljali standarda Wi-Fi 802.11n in 802.11b. V primerjavi s scenarijem 7 so pri uporabi LG *Bluetooth* slušalk prenosne hitrosti nižje. Hitrosti med sabo tudi precej nihajo, sploh pri prenosu s strežnika, saj so te dosti večje v primeru, če uspe *Bluetooth* in Wi-Fi prenosu zasesti različne frekvenčne kanale, tako da se le ti med seboj ne prekrivajo. Posledično je tudi standardni odklon za prenos s strežnika precej velik. V primeru prekrivanja med Wi-Fi in *Bluetooth* kanali pride do kolizij in kvaliteta prenosa na obeh straneh pade, Wi-Fi pa mora vsak okvarjen okvir poslati ponovno.

Št. poizkusa	Prenos na strežnik (Mbps)	Prenos s strežnika (Mbps)	Kvaliteta zvoka v slušalkah
1	51	65	Slaba
2	56	65	Dobra
3	60	65	Dobra
4	41	59	Dobra
5	61	63	Srednja
6	52	68	Dobra
7	58	72	Srednja
8	56	71	Dobra
9	56	100	Srednja
10	82	123	Dobra
Povprečje	57,3	75,1	Dobra
Standardni odklon	9,8	19,2	/

Tabela 6.8: Tabela prikazuje hitrosti prenosa na krajši razdalji pri scenariju 8.

Scenarij 9

Velikost prenesene datoteke je 100 MB. Pri tem scenariju smo predvidevali, da se bodo prenosne hitrosti gibale okoli 130 Mbps. Dejanske prenosne hitrosti so nižje in za prenos na strežnik v povprečju dosegaajo 81 Mbps, pri prenosu s strežnika pa 101 Mbps. Pri tem scenariju smo uporabljali standarda Wi-Fi 802.11n in 802.11b. V povprečju je kvaliteta predvajanega zvoka v slušalkah srednja, kar je še skladno z našimi napovedmi za Pulsar slušalke. Hitrosti prenosa so precej enakomerno razporejene. Pri tem scenariju preseneča to, da so prenosne hitrosti večje kot pri scenariju 8, kar je v nasprotju z našimi predvidevanji.

Št. poizkusa	Prenos na strežnik (Mbps)	Prenos s strežnika (Mbps)	Kvaliteta zvoka v slušalkah
1	81	105	Slaba
2	81	99	Slaba
3	79	96	Srednja
4	83	103	Dobra
5	78	108	Srednja
6	86	103	Dobra
7	82	102	Dobra
8	80	100	Dobra
9	79	98	Dobra
10	81	100	Srednja
Povprečje	81	101,4	Srednja
Standardni odklon	2,2	3,4	/

Tabela 6.9: Tabela prikazuje hitrosti prenosa na krajši razdalji pri scenariju 9.

6.2 Meritve na daljši razdalji

Pred pričetkom meritev smo izmerili moč signala dostopne točke na prenosniku HP. Ta je bila velikosti -71 dBm. Dostopna točka je oddajala na dveh združenih kanalih hkrati, skupne frekvenčne širine 40 MHz konfiguracije 6+10 (zasedajo kanala 6 in 10).

Scenarij 1

Velikost prenesene datoteke je 70 MB. Za ta scenarij smo predvidevali prenosne hitrosti okoli 40 Mbps. Dejanska prenosna hitrost s strežnika odstopa približno za 4 Mbps, prenosna hitrost na strežnik pa za približno 35 Mbps. Med prenosnimi hitrosti ni večjih razlik, posledično je tudi standardni odklon majhen. Ta scenarij ima največje prenosne hitrosti izmed vseh, saj smo pri prenašanju uporabili izključno standard 802.11n. Priključena ni bila nobena *Bluetooth* naprava. Prenosna hitrost s strežnika je za več kot polovico večja od prenosne hitrosti na strežnik. Mnenja smo, da je to posledica tega, da je prednostna funkcija dostopne točke prenos podatkov s strežnika in posledično prenos podatkov z dostopne točke. Tako je dostopna točka optimizirana za oddajanje. Predvidevamo lahko tudi, da je učinkovitost oddajanja dostopne točke večja od učinkovitosti oddajanja prenosnika.

Št. poizkusa	Prenos na strežnik (Mbps)	Prenos s strežnika (Mbps)
1	43	81
2	31	76
3	34	76
4	37	77
5	38	79
6	33	71
7	35	75
8	34	72
9	35	72
10	36	74
Povprečje	35,6	75,3
Standardni odklon	3,1	3

Tabela 6.10: Tabela prikazuje hitrosti prenosa na daljši razdalji pri scenariju 1.

Scenarij 2

Velikost prenesene datoteke je 30 MB. Pri tem scenariju smo predvidevali, da se bodo prenosne hitrosti gibale okoli 40 Mbps. Dejanske prenosne hitrosti so dosti nižje in za prenos na strežnik v povprečju dosegaajo 15 Mbps, pri prenosu s strežnika pa 14 Mbps. V povprečju je kvaliteta predvajanega zvoka v slušalkah srednja, kar nas glede na naše napovedi preseneča. V primerjavi s scenarijem 1 se pri uporabi LG *Bluetooth* slušalk prenosne hitrosti precej zmanjšajo. Hitrosti med sabo tudi nekoliko nihajo, saj so te dosti večje v primeru, če uspe *Bluetooth* in Wi-Fi prenosu zasesti različne frekvenčne kanale, tako da se le ti med seboj ne prekrivajo. Posledično je tudi standardni odklon tako za prenos na strežnik kot tudi prenos s strežnika večji. V primeru prekrivanja med Wi-Fi in *Bluetooth* kanali pride do kolizij in kvaliteta prenosa na obeh straneh pade, Wi-Fi pa mora vsak okvarjen okvir poslati ponovno.

Št. poizkusa	Prenos na strežnik (Mbps)	Prenos s strežnika (Mbps)	Kvaliteta zvoka v slušalkah
1	22	27	Dobra
2	22	24	Dobra
3	22	21	Dobra
4	7	3	Srednja
5	6	3	Slaba
6	9	3	Srednja
7	24	21	Dobra
8	13	2	Slaba
9	5	11	Slaba
10	24	26	Dobra
Povprečje	15,4	14,1	Srednja
Standardni odklon	7,7	10,1	/

Tabela 6.11: Tabela prikazuje hitrosti prenosa na daljši razdalji pri scenariju 2.

Scenarij 3

Velikost prenesene datoteke je 20 MB. Pri tem scenariju smo predvidevali prenosne hitrosti okoli 35 Mbps. Dejansko pa so v povprečju prenosne hitrosti manjše, in sicer pri prenosu na strežnik dosegajo 17 Mbps, pri prenosu s strežnika pa 20 Mbps. V povprečju je kvaliteta predvajanega zvoka v slušalkah slaba, kar je skladno z našimi napovedmi za Pulsar slušalke. Hitrosti med sabo tudi nekoliko nihajo, saj so te dosti večje v primeru, če uspe *Bluetooth* in Wi-Fi prenosu zasesti različne frekvenčne kanale, tako da se le ti med seboj ne prekrivajo. Posledično je tudi standardni odklon za prenos s strežnika velik. V primeru prekrivanja med Wi-Fi in *Bluetooth* kanali pride do kolizij in kvaliteta prenosa na obeh straneh pade, Wi-Fi pa mora vsak okvarjen okvir poslati ponovno. Pri tem scenariju preseneča to, da so prenosne hitrosti večje kot pri scenariju 2, kar je v nasprotju z našimi predvidevanji.

Št. poizkusa	Prenos na strežnik (Mbps)	Prenos s strežnika (Mbps)	Kvaliteta zvoka v slušalkah
1	18	10	Slaba
2	19	9	Srednja
3	13	11	Slaba
4	18	21	Slaba
5	20	18	Slaba
6	20	12	Slaba
7	12	17	Slaba
8	11	24	Slaba
9	16	40	Dobra
10	20	38	Dobra
Povprečje	16,7	20	Slaba
Standardni odklon	3,3	10,6	/

Tabela 6.12: Tabela prikazuje hitrosti prenosa na daljši razdalji pri scenariju 3.

Scenarij 4

Velikost prenesene datoteke je 70 MB. Pri tem scenariju smo predvidevali prenosne hitrosti okoli 30 Mbps. Dejansko pa so v povprečju prenosne hitrosti sledeče, in sicer pri prenosu na strežnik dosegajo 35 Mbps, pri prenosu s strežnika pa 73 Mbps. Večjega nihanja med prenosnimi hitrosti nismo opazili. Pri tem scenariju smo uporabljali standarda Wi-Fi 802.11n in 802.11g. Posledično v primerjavi s scenarijem 1 prenosne hitrosti malenkost padejo.

Št. poizkusa	Prenos na strežnik (Mbps)	Prenos s strežnika (Mbps)
1	35	74
2	35	70
3	35	73
4	32	72
5	35	73
6	35	74
7	35	73
8	35	74
9	35	73
10	34	74
Povprečje	34,6	73
Standardni odklon	0,9	1,2

Tabela 6.13: Tabela prikazuje hitrosti prenosa na daljši razdalji pri scenariju 4.

Scenarij 5

Velikost prenesene datoteke je 20 MB. Pri tem scenariju smo predvidevali, da se bodo prenosne hitrosti gibale okoli 30 Mbps. Dejanske prenosne hitrosti so nižje in za prenos na strežnik v povprečju dosegajo 18 Mbps, pri prenosu s strežnika pa 24 Mbps. V povprečju je kvaliteta predvajanega zvoka v slušalkah srednja, kar nas glede na naše napovedi preseneča. Pri tem scenariju smo uporabljali standarda Wi-Fi 802.11n in 802.11g. V primerjavi s scenarijem 4 so pri uporabi LG *Bluetooth* slušalk prenosne hitrosti bistveno nižje. Hitrosti med sabo tudi precej nihajo, saj so te dosti večje v primeru,

če uspe *Bluetooth* in Wi-Fi prenosu zasesti različne frekvenčne kanale, tako da se le ti med seboj ne prekrivajo. Posledično je tudi standardni odklon za prenos s strežnika precej velik. V primeru prekrivanj med Wi-Fi in *Bluetooth* kanali pride do kolizij in kvaliteta prenosa na obeh straneh pade, Wi-Fi pa mora vsak okvarjen okvir poslati ponovno.

Št. poizkusa	Prenos na strežnik (Mbps)	Prenos s strežnika (Mbps)	Kvaliteta zvoka v slušalkah
1	28	56	Dobra
2	30	57	Dobra
3	24	11	Srednja
4	14	8	Dobra
5	9	3	Slaba
6	7	2	Slaba
7	6	6	Slaba
8	14	14	Dobra
9	26	40	Dobra
10	24	40	Dobra
Povprečje	18,2	23,7	Srednja
Standardni odklon	8,7	21	/

Tabela 6.14: Tabela prikazuje hitrosti prenosa na daljši razdalji pri scenariju 5.

Scenarij 6

Velikost prenesene datoteke je 20 MB. Pri tem scenariju smo predvidevali, da se bodo prenosne hitrosti gibale okoli 25 Mbps. Dejanske prenosne hitrosti so dosti nižje in za prenos na strežnik v povprečju dosega 13 Mbps, pri prenosu s strežnika pa 16 Mbps. Pri tem scenariju smo uporabljali standarda Wi-Fi 802.11n in 802.11g. V povprečju je kvaliteta predvajanega zvoka v slušalkah slaba, kar je skladno z našimi napovedmi za Pulsar slušalke. Hitrosti prenosa s strežnika med sabo nekoliko nihajo, saj so te dosti večje v primeru, če uspe *Bluetooth* in Wi-Fi prenosu zasesti različne frekvenčne kanale, tako da se le ti med seboj ne prekrivajo. V primeru prekrivanj med Wi-Fi in *Bluetooth* kanali

pride do kolizij in kvaliteta prenosa na obeh straneh pade, Wi-Fi pa mora vsak okvarjen okvir poslati ponovno. To vodi v majhne prenosne hitrosti, kot opazamo na spodnji tabeli. Prenosne hitrosti so nižje kot v scenariju 5.

Št. poizkusa	Prenos na strežnik (Mbps)	Prenos s strežnika (Mbps)	Kvaliteta zvoka v slušalkah
1	10	22	Slaba
2	14	14	Slaba
3	14	24	Slaba
4	16	8	Srednja
5	11	15	Slaba
6	13	16	Slaba
7	13	12	Slaba
8	11	15	Srednja
9	12	16	Slaba
10	12	14	Slaba
Povprečje	12,6	15,6	Slaba
Standardni odklon	1,7	4,3	/

Tabela 6.15: Tabela prikazuje hitrosti prenosa na daljši razdalji pri scenariju 6.

Scenarij 7

Velikost prenesene datoteke je 70 MB. Pri tem scenariju smo predvidevali prenosne hitrosti okoli 15 Mbps. Dejansko pa so v povprečju prenosne hitrosti sledeče, in sicer pri prenosu na strežnik dosega 29 Mbps, pri prenosu s strežnika pa 61 Mbps. Pri merjenju nismo zaznali večjih nihanj med posameznimi prenosnimi hitrostmi. Pri tem scenariju smo uporabljali standarda Wi-Fi 802.11n in 802.11b, posledično je občutiti padec prenosnih hitrosti v primerjavi s scenarijem 4.

Št. poizkusa	Prenos na strežnik (Mbps)	Prenos s strežnika (Mbps)
1	28	60
2	28	60
3	28	62
4	27	62
5	29	59
6	29	62
7	29	61
8	28	62
9	28	63
10	31	60
Povprečje	28,5	61,1
Standardni odklon	1	1,2

Tabela 6.16: Tabela prikazuje hitrosti prenosa na daljši razdalji pri scenariju 7.

Scenarij 8

Velikost prenesene datoteke je 20 MB. Pri tem scenariju smo predvidevali, da se bodo prenosne hitrosti gibale okoli 15 Mbps. Dejanske prenosne hitrosti so nižje in za prenos na strežnik v povprečju dosežajo 12 Mbps, pri prenosu s strežnika pa 13 Mbps. V povprečju je kvaliteta predvajanega zvoka v slušalkah dobra, kar je v skladu z našimi napovedmi. Pri tem scenariju smo uporabljali standarda Wi-Fi 802.11n in 802.11b. V primerjavi s scenarijem 7 so pri uporabi LG *Bluetooth* slušalk prenosne hitrosti nižje. Hitrosti med sabo tudi precej nihajo, predvsem pri prenosu s strežnika, saj so te dosti večje v primeru, če uspe *Bluetooth* in Wi-Fi prenosu zasesti različne frekvenčne kanale, tako da se le ti med seboj ne prekrivajo. Posledično je tudi standardni odklon za prenos s strežnika večji. V primeru prekrivanja med Wi-Fi in *Bluetooth* kanali pride do kolizij in kvaliteta prenosa na obeh straneh pade, Wi-Fi pa mora vsak okvarjen okvir poslati ponovno.

Št. poizkusa	Prenos na strežnik (Mbps)	Prenos s strežnika (Mbps)	Kvaliteta zvoka v slušalkah
1	22	37	Dobra
2	10	16	Srednja
3	9	8	Srednja
4	11	12	Dobra
5	11	15	Dobra
6	13	8	Dobra
7	10	8	Slaba
8	15	4	Dobra
9	9	15	Dobra
10	12	7	Dobra
Povprečje	12,2	13	Dobra
Standardni odklon	3,7	8,9	/

Tabela 6.17: Tabela prikazuje hitrosti prenosa na daljši razdalji pri scenariju 8.

Scenarij 9

Velikost prenesene datoteke je 20 MB. Pri tem scenariju smo predvidevali, da se bodo prenosne hitrosti gibale okoli 10 Mbps. Dejanske prenosne hitrosti tako za prenos na strežnik kot tudi pri prenosu z njega v povprečju dosegajo 10 Mbps. Pri tem scenariju smo uporabljali standarda Wi-Fi 802.11n in 802.11b. V povprečju je kvaliteta predvajanega zvoka v slušalkah slaba, kar je skladno z našimi napovedmi za Pulsar slušalke. Hitrosti med sabo tudi precej nihajo, predvsem pri prenosu s strežnika, saj so te dosti večje v primeru, če uspe *Bluetooth* in Wi-Fi prenosu zasesti različne frekvenčne kanale, tako da se le ti med seboj ne prekrivajo.

Št. poizkusa	Prenos na strežnik (Mbps)	Prenos s strežnika (Mbps)	Kvaliteta zvoka v slušalkah
1	3	3	Slaba
2	10	16	Slaba
3	9	8	Slaba
4	11	12	Slaba
5	11	15	Slaba
6	13	8	Srednja
7	10	8	Srednja
8	15	4	Dobra
9	9	15	Dobra
10	12	7	Slaba
Povprečje	10,3	9,6	Slaba
Standardni odklon	3	4,4	/

Tabela 6.18: Tabela prikazuje hitrosti prenosa na daljši razdalji pri scenariju 9.

6.3 Prikaz povprečnih rezultatov vseh meritev

V spodnji tabeli prikazujemo povprečne rezultate vseh meritev.

Scenarij	Razdalja	802.11 standardi	Slušalke	Prenos na strežnik (Mbps)	Prenos s strežnika (Mbps)	Kvaliteta zvoka v slušalkah
1	Kratka	n	/	146	194,3	/
2	Kratka	n	LG	74,4	91,1	Slaba
3	Kratka	n	Pulsar	90,7	97,2	Slaba
4	Kratka	n+g	/	127,6	184,8	/
5	Kratka	n+g	LG	82,4	83	Srednja
6	Kratka	n+g	Pulsar	112,7	130	Slaba
7	Kratka	n+b	/	97,9	156,8	/
8	Kratka	n+b	LG	57,3	75,1	Dobra
9	Kratka	n+b	Pulsar	81	101,4	Srednja
1	Dolga	n	/	35,6	75,3	/
2	Dolga	n	LG	15,4	14,1	Srednja
3	Dolga	n	Pulsar	16,7	20	Slaba
4	Dolga	n+g	/	34,6	73	/
5	Dolga	n+g	LG	18,2	23,7	Srednja
6	Dolga	n+g	Pulsar	12,6	15,6	Slaba
7	Dolga	n+b	/	28,5	61,1	/
8	Dolga	n+b	LG	12,2	13	Dobra
9	Dolga	n+b	Pulsar	10,3	9,6	Slaba

Tabela 6.19: Tabela prikazuje hitrosti prenosa na daljši razdalji.

Če gledamo celostno, potem ima na hitrost Wi-Fi prenosa največji vpliv oddaljenost od dostopne točke oziroma moč signala dostopne točke pri sprejemniku (v našem primeru je bil to prenosnik HP). Če primerjamo scenarije na kratki razdalji s scenariji na dolgi razdalji, potem ugotovimo, da v nekaterih primerih hitrost pade tudi za več kot 100 Mbps. Tako ob prenosu na strežnik, pri izključni uporabi standarda 802.11n, hitrost prenosa v primeru dolge razdalje dosega komaj slabo četrtno vrednosti, izmerjene na kratki razdalji.

Drugi po vplivu je *Bluetooth* prenos. Tako tudi tu v nekaterih primerih, sploh pri uporabi LG slušalk, hitrost pade za več kot 100 Mbps. Tezo o tem, da se bodo novejšje slušalke LG bolje izogibale zasedenim frekvencam s strani Wi-Fi prenosa kot slušalke Pulsar lahko ovržemo, saj je bila prenosna hitrost pri scenarijih, ki so vključevali slušalke LG, v večini primerih nižja kot pri scenarijih s slušalkami Pulsar. Nasprotno pa smo pri LG slušalkah zaznali boljšo kakovost zvoka kot pri Pulsar slušalkah. V meritve bi bilo dobro vključiti še slušalke z *Bluetooth* standardom 4.0, a teh žal nismo imeli. Tako bi lahko odkrili, v kolikšni meri se najnovejši *Bluetooth* standard izogiba zasedenim kanalom s strani Wi-Fi prenosa. Prenosna hitrost je v veliki meri odvisna od sinhronizacije med Wi-Fi in *Bluetooth* signalom, tako da si drug drugemu ne prekrivata frekvenčnih kanalov.

Nazadnje je tu vpliv starejših standardov na prenosno hitrost. Tega ne gre zanemarjati, saj v nekaterih primerih zmanjša prenosno hitrost za več kot 40 Mbps, a dokler je prisoten slab signal dostopne točke ter kolizije zaradi *Bluetooth* povezav, potem Wi-Fi standarde ni smiselno izboljševati, saj novejši standard ne pripomore k razumnemu povečanju prenosne hitrosti, glede na ceno novejših Wi-Fi naprav.

V meritvah smo zasledili večje razlike med hitrostjo prenosa na strežnik in hitrostjo prenosa s strežnika, saj je bila slednja občutno večja. To lahko pripišemo kvalitetnejšemu oddajanju signala dostopne točke v primerjavi z oddajanjem signala prenosnika HP.

Bralec naj vzame na znanje, da sta najnovejša obravnavana standarda v meritvah te diplomske naloge standarda *Bluetooth* 3.0 in IEEE 802.11n, ta sta zajeta na 2,4 GHz spektru. V kolikor ima bralec v lasti naprave z novejšimi standardi, potem naj ne izpeljuje zaključkov iz te diplomske naloge, ampak naj izvede meritve na lastnih napravah, saj je možno, da bodo rezultati celostno drugačni.

Poglavje 7

Zaključek

V tej diplomski nalogi smo se seznanili s potekom razvoja Wi-Fi tehnologije pretežno na 2,4 GHz frekvenčnem spektru. Spoznali smo posamezne standarde IEEE 802.11, njihove lastnosti in izboljšave v primerjavi s predhodnimi standardi. Poglobili smo se v sobivanje teh standardov in sklenili, da je smiselno posodobiti oziroma zamenjati starejše naprave, v kolikor hočemo maksimalno izkoristiti novejša standarda. Nekaj časa smo namenili tudi *Bluetooth* standardu in njegovemu sobivanju z Wi-Fi napravami. Čeprav že *Bluetooth* verzija 1.2 implementira rešitve za izogibanje zasedenim *Bluetooth* kanalom s strani drugih naprav, pa so naši eksperimentalni rezultati pokazali, da ni vse tako rožnato, saj se v praksi *Bluetooth* naprave in Wi-Fi naprave precej motijo med sabo. Naši rezultati so tudi pokazali, da imajo *Bluetooth* naprave večji vpliv na padec prenosne hitrosti Wi-Fi omrežja v primerjavi z zastarelimi standardi 802.11b in 802.11g.

Literatura

- [1] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/8c/2.4_GHz_Wi-Fi_channels_%28802.11b,g_WLAN%29.svg/2000px-2.4_GHz_Wi-Fi_channels_%28802.11b,g_WLAN%29.svg.png. Svetovni splet: 27. julij 2016.
- [2] <http://file.scirp.org/Html/7-970029%5C934b2f15-f44d-47d9-8e22-6075323eb57f.jpg>. Svetovni splet: 16. avgust 2016.
- [3] https://ucilnica.fri.uni-lj.si/pluginfile.php/28648/mod_resource/content/1/4%20-%20MBK%20WS.pdf. Svetovni splet: 29. julij 2016.
- [4] F. Orthman. *Wi-Fi handbook: building 802.11b wireless networks*. McGraw-Hill Professional, New York, 2003.
- [5] <https://meraki.cisco.com/blog/wp-content/uploads/2012/03/5GHzchannelization.png>. Svetovni splet: 30. julij 2016.
- [6] Matthew S. Gast. *802.11n: A Survival Guide*. O'Reilly Media, Sebastopol, 2012.
- [7] https://www.libelium.com/v11-files/documentation/waspmote/bluetooth-networking_guide.pdf. Svetovni splet: 8. avgust 2016.
- [8] https://community.estimote.com/hc/en-us/article_attachments/201415866/BLEChannels.png. Svetovni splet: 8. avgust 2016.

- [9] <http://www.conceptdraw.com/How-To-Guide/picture/Computer-and-networks-Wireless-router-home-area-network-diagram.png>. Svetovni splet: 30. avgust 2016.
- [10] https://itechgeezzer.files.wordpress.com/2015/08/img_0048.png. Svetovni splet: 30. avgust 2016.